

Sopimusvalmistajan tuotannon siirto ja laadun varmistaminen

Oskari Hakkarainen

Sähkötekniikan korkeakoulu

Diplomityö
Espoo 8.3.2018

Vastuopettaja

Prof. Raimo Sepponen

Työn ohjaaja

TkL Niklas Lindfors

AALTO-YLIOPISTO
SÄHKÖTEKNIIKAN KORKEAKOULU

DIPLOMITYÖN
TIIVISTELMÄ

Tekijä: Oskari Hakkarainen		
Työn nimi: Sopimusvalmistajan tuotannon siirto ja laadun varmistaminen		
Päivämäärä: 8.3.2018	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 98 + 13
Automation and Electrical engineering		
Pääaine: Translationaalinen tekniikka	Pääaineen koodi: ELEC3023	
Valvoja: Prof. Raimo Sepponen		
Ohjaaja: TkL Niklas Lindfors		
<p>Diplomityössä tutkittiin elektroniikkavalmistuksen siirtoprojektin riskien tunnistamista ja hallintaa, sekä valmistuksen laadun varmistamista siirron yhteydessä. Työn tavoitteena oli luoda siirtokonsepti tulevia tuotannonsiirtoja varten ja varmistaa kyseessä olleen tuotannonsiirron onnistumisen ilman asiakasyrityksen tuotannon katkeamista. Tuotteiden laadun varmistamiseksi työssä kehitettiin validointi- ja verifiointisuunnitelma, jonka mukaan uuden tuotantolaitoksen tuotteiden laatu varmistettiin. Laadunvarmistuksen lisäksi siirtokonsepti kattaa myös muut siirtoprojektin vaiheet esivalmisteluista seurantavaiheeseen.</p> <p>Siirtokonsepti testattiin elektroniikkavalmistuksen siirron yhteydessä ja se todettiin toimivaksi ja hyödylliseksi. Konseptin avulla toteutettu tuotannonsiirto onnistui päätavoitteiden osalta hyvin ja kyseistä siirtokonseptia kannattaa diplomityön perusteella käyttää tulevissakin siirroissa.</p>		
Avainsanat: tuotannonsiirto, elektroniikka, elektroniikan valmistus, elektroniikan laatu, laadunvarmistus, siirtokonsepti		

AALTO UNIVERSITY
SCHOOL OF ELECTRICAL
ENGINEERING

ABSTRACT
MASTER'S THESIS

Author: Oskari Hakkarainen		
Title: Relocating subcontractor manufacturing and ensuring product quality		
Date: 8.3.2018	Language: Finnish	Pages: 98 + 13
Automation and Electrical engineering		
Major: Translational engineering	Code of major: ELEC3023	
Supervisor: Prof. Raimo Sepponen		
Advisor: Lic. Sc. (Tech.) Niklas Lindfors		
<p>This master's thesis studied the risk management and product quality insurance in electronics manufacturing relocation project. The goal of this thesis was to create a project concept for future relocation projects and to ensure continuous operation of the customer's manufacturing during the relocation project at hand. In order to ensure the product quality of the products from the new manufacturing location a validation and verification plan was created. On top of the quality insurance the relocation concept covers all project phases from preparations to follow-up.</p> <p>The concept was found useful when it was tested with a relocation project of electronics manufacturing. The relocation project that was carried out using this concept met all the critical goals and based on the test the concept should be used in future relocation projects as well.</p>		
Key words: manufacturing relocation, electronics, electronics manufacturing, electronics quality, quality insurance, concept, relocation concept		

Alkusanat

Tämä diplomityö tehtiin Metso Flow Control Oy:n asennointitehtaalle. Työn valvojana toimi professori Raimo Sepponen ja ohjaajana tekniikan lisensiaatti ja esimieheni Niklas Lindfors. Haluan kiittää professori Sepposta kärsivällisyydestä ja suunnannäyttämisestä diplomityöni tekemisen aikana sekä Niklas Lindforsia erinomaisesta ohjaamisesta ja erityisesti avusta diplomityön jäsentelyssä, tarkastamisessa sekä ideoinnissa. Suuret kiitokset myös Petteri Hämäläiselle aiheen esittelystä.

Kaikkein suurimmat kiitokset kuuluvat vaimolleni Niinalle, joka kannusti, tuki ja auttoi kaikissa vaikeuksissa diplomityötä tehdessäni. Lisäksi haluan kiittää vanhempiani, jotka auttoivat lastenhoidossa aina tarvittaessa sekä kannustivat läpi koko pitkän diplomityöprosessin.

Espoossa 8.3.2018

Oskari Hakkarainen

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	I
ABSTRACT	II
ALKUSANAT.....	III
SISÄLLYSLUETTELO	IV
LYHENTEET JA AVAINTERMIT	VI
KUVAT	VII
TAULUKOT.....	IX
1 JOHDANTO	1
1.1 TAUSTA	1
1.2 TUTKIMUSONGELMA	1
1.3 TUTKIMUSMENETELMÄT	1
1.4 TAVOITE.....	1
1.5 DIPLOMITYÖN RAKENNE	2
2 METSO LYHYESTI.....	3
2.1 METSO-KONSERNI JA FLOW CONTROL OY	3
2.2 ASENNOITINTEHDAS.....	5
2.2.1 Historia ja pääluvut.....	7
2.2.2 Johtamismalli	8
2.2.3 Alihankinta	11
3 TUOTANNON SIIRTÄMINEN.....	14
3.1 TAUSTAA.....	14
3.2 RISKIT JA NIIDEN HAVAITSEMINEN	17
4 ELEKTRONIIKKAVALMISTUKSEN LAATU JA TUOTTAVUUS.....	23
4.1 LAATU JA TUOTTAVUUS	23
4.2 ELEKTRONIIKAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	28
4.3 LAADUN MITTARIT	31
4.4 LAADUN SEURANTA	38
5 SIIRTOPROJEKTI.....	40
5.1 SIIRRON TAUSTAA	40
5.2 PROJEKTIOORGANISAATIO	40
5.3 AIKATAULU.....	41
5.4 KOHDETEHTAAN AUDITOINTI.....	42
5.5 SIIRTOJÄRJESTYS.....	43
5.6 PUSKURIVARASTOT	45
5.7 KOE-ERÄT	46
5.8 LAADUNVARMISTUS.....	47
6 KONSEPTI	52
6.1 SIIRTOKONSEPTISTA	52

6.2	ESIVALMISTELUT.....	52
6.3	LAADUNVARMISTUS	55
6.4	VALMISTUKSEN SIIRTO.....	57
6.5	SEURANTAJAKSO.....	58
7	TULOKSET	59
7.1	AIKATAULUN PITÄVYYS	59
7.2	RESURSOINNIN ONNISTUMINEN	61
7.3	VISUAALINEN TARKASTUS	62
7.4	RÖNTGENKUVAT	64
7.5	MUUT ELEKTRONIIKAN TESTIT	70
7.6	ENSISAANNOT	74
7.7	LÄPIMENOAIKA JA HINTA	78
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	80
8.1	TULOSTEN KOMMENTOINTI	80
8.2	SIIRTOKONSEPTIN ARVIOINTI.....	82
8.3	SUOSITUKSET METSOLLE	85
	VIITTEET	87
	LIITTEET.....	89
	LIITE 1, LAADUN VALIDOINTI- JA VERIFIOINTISUUNNITELMA.....	89
	LIITE 2, SIIRTOKONSEPTIN MUISTIKARTTA	100
	LIITE 3, VOIDIEN PEITTÄMÄ PINTA-ALA JUOTOSPINTA-ALASTA PROSENTTEINA TOISEN KOE-ERÄN HART-PT-KORTTIEN TRANSISTOREILLA	101

Lyhenteet ja avaintermit

+QDIP	Johtamismallin mukainen tuotannon seurantatapa, Safety, Quality, Delivery, Inventory, Productivity, eli turvallisuus, laatu, toimitukset, varasto ja tuottavuus
AOI (AVI)	Automated optical inspection (Automated visual inspection). Automaattinen optinen tarkastus
ATEX	Räjähdyksvaarallisissa tiloissa käytettävien laitteiden standardi ja lainsäädäntö, jotka perustuvat EU-direktiiviin (94/9/EY)
EPC	Engineering, Procurement and Construction Loppuasiakkaan hankkeen kokonaistoimittaja
LCL, LSL	Lower Control Limit, Lower Specification Limit Alempi raja-arvo hyväksyntätestauksessa
LTIF	Työturvallisuuden mittari, vähintään päivän poissaoloon johtaneiden työtapaturmien määrä miljoonaa työtuntia kohden, Lost Time Injury Frequency
OEM	Original Equipment Manufacturer. Lopputuotteen valmistaja, joka myy asiakkailleen kolmannen osapuolen tuotteita osana oman tuotantonsa kokonaisuutta
PDCA	Jatkuvan parantamisen mallin mukainen juurisyyanalyysityökalu. Plan, Do, Check, Act, eli suunnittele, toteuta, tarkista ja reagoi
UCL, USL	Upper Control Limit, Upper Specification Limit Ylempi raja-arvo hyväksyntätestauksessa

Kuvat

Kuva 1, Venttiiliyhdistelmä	5
Kuva 2, Tiedon jaottelu (Ekholm & Kauranen, 2003).....	20
Kuva 3, Kokonaislaadun kolme tukipilaria (Goetsch & Davis, 2009)	25
Kuva 4, Laadun vaikutus kilpailukykyyn (Mitra, 2016).....	27
Kuva 5, Laatukustannukset laadun funktiona perinteisessä ajattelumallissa (Mitra, 2016).....	28
Kuva 6, Esimerkki liiallisen juotteen aiheuttamasta oikosulusta (Li & Wang, 2013).....	30
Kuva 7, Juotteen väärästä määrästä aiheutuneita huonoja juotoksia (Li & Wang, 2013)	30
Kuva 8, Esimerkki komponentista, joka on ladottu väärinpäin piirilevyille (Li & Wang, 2013)	31
Kuva 9, Normaalijakautuneen muuttujan todennäköisyydet pysyä eri keskihajontojen sisäpuolella (Montgomery, 2009).....	35
Kuva 10, Normaalijakautuneen muuttujan todennäköisyydet eri keskihajonnoille, kun odotusarvo on siirtynyt $1,5 \sigma$ (Montgomery, 2009).....	35
Kuva 11, Tyypillinen kontrollikuvaaja (May & Spanos, 2006).....	38
Kuva 12, Havaintokuva säännöstöstä, jonka mukaan prosessi ei enää ole hallinnassa (May & Spanos, 2006).....	38
Kuva 13, Taajuuspyyhkäisy 15–2000 Hz, resonanssitaajuuden löytämiseksi, esimerkkilaitte, suunta X.	49
Kuva 14, Tärinätesti esimerkkilaitteella suunnassa X resonanssitaajuudella.	50
Kuva 15, Tinahelmiä VC-kortin pinnalla.....	63
Kuva 16, FF-kortin tyypillinen juotos röntgenkuvattuna.....	65
Kuva 17, VC-kortin juotoksia röntgenkuvattuna.	65
Kuva 18, HART-PT-kortin transistorien tyypilliset voidit ensimmäisessä koe-erässä.	67
Kuva 19, HART-PT-kortin transistorien tyypilliset voidit toisessa koe- erässä.....	68
Kuva 20, Voidien pinta-alan laskenta ohjelmallisesti röntgenkuvasta.	69

Kuva 21, Huonoiten juottunut transistori toisesta koe-erästä. Kortti a6, transistori 1.	69
Kuva 22, VC-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.	75
Kuva 23, HART-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.	76
Kuva 24, HART-PT-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.	76
Kuva 25, FF-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.	77
Kuva 26, Lakkauksen visuaalisen tarkastuksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.	78

Taulukot

Taulukko 1, Lämpösyklitestattujen laitteiden testitulokset.....	71
Taulukko 2, FT1-testien tulokset ja VC-korttien sarjanumerot.	72
Taulukko 3, FT2-testien tulokset ja laitteiden sarjanumerot.....	73

1 Johdanto

1.1 Tausta

Metson asennoitintehtaan sopimusvalmistaja ilmoitti asiakkailleen aikovansa siirtää elektroniikan valmistuksensa Suomesta toiseen maahan. Sopimusvalmistaja oli asennoitintehtaan ostamille tuotteille ainoa, eli niin sanottu single source -toimittaja ja tästä johtuen siirron onnistuminen aikataulullisesti ja laadullisesti oli Metsolle erityisen tärkeää. Ilman kyseisiä elektroniikkakokoonpanoja asennoitintehtaan tuotanto pysähtyisi lähes kokonaan. Sopimusvalmistaja toimitti asennoitintehtaalle siirron alkaessa 16 eri kokoonpanonimikettä. Metson asennoitintehtaalla ei ollut aiempaa kokemusta ulkopuolisen tekemän siirron vaikutuksista, riskeistä ja mahdollisista laadullisista ongelmista. Myöskään valmista konseptia siirron aikataulun, laadun ja riskien seurantaan ei ollut olemassa.

1.2 Tutkimusongelma

Tutkimusongelma oli, miten varmistaa oman tuotannon jatkuminen siirron aikana ja miten mitata siirron onnistuminen tuotteiden laadun osalta sekä miten kartoittaa ja välttää siirron aiheuttamia riskejä.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Projektissa tutkimusmenetelmänä käytettiin laadun osalta vertailua aiemman tuotantoyksikön tuottamaan laatuun. Vertailu suoritettiin hankkimalla asiantuntijalausuntoja otospohjaisista näyte-eristä, sekä tutkimalla asiakasyrityksen tekemän normaalin tuotantotestauksen ja vain siirtoon liittyvien ylimääräisten elektroniikan laatua mittaavien testausten saantoja. Aikataulun pitävyyden ja riskien hallinnan osalta tutkittiin asiakasyrityksen tuotannon keskeytyksiä siirrosta johtuvista syistä.

1.4 Tavoite

Diplomityöllä oli kaksi päätavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena oli luoda konsepti, jolla vastaavia osatoimituksen siirtoja voidaan jatkossa toteuttaa ja seurata. Toisena tavoitteena oli varmistaa, että elektroniikkavalmistuksen

siirto onnistuu aikataulullisesti ja laadullisesti hyvin siten, että toimitukset eivät katkea missään vaiheessa.

1.5 Diplomityön rakenne

Diplomityön ensimmäinen luku on johdanto diplomityöhön. Luvut kahdesta neljään pitävät sisällään työn teoriaosuuden ja luvusta viisi eteenpäin kerrotaan työn käytännönsuudesta. Toisessa luvussa kerrotaan lyhyesti Metsosta, yrityksestä johon diplomityö tehtiin. Luvussa käydään läpi Metso-konsernin ja Metso Flow Control Oy:n avainluvut ja tutustutaan tarkemmin Flow Control Oy:n asennoitintehtaan historiaan, päälukuihin, johtamismalliin ja tehtaan alihankintaan. Kolmannessa luvussa käsitellään teoreettisella tasolla erilaisia syitä tuotannon siirtämiselle sekä siihen liittyviä riskejä ja niiden havaitsemista. Elektroniikkavalmistuksen laatuun ja tuottavuuteen vaikuttaviin tekijöihin, laadun mittareihin ja sen seurantaan keskitytään luvussa neljä. Luvussa viisi esitellään kyseisen alihankintasiirron vaiheet ja kerrotaan siirron etenemisestä. Diplomityön tuottama tuotannon siirtokonsepti on esitelty luvussa kuusi. Luku seitsemän käsittelee siirtoprojektin tuloksia aikataulun ja resursoinnin onnistumisen, laadun varmistuksen tulosten ja siirron jälkeisten saantojen, hinnan ja läpimenoajan perusteella. Luvussa kahdeksan esitetään johtopäätökset työstä, kommentoidaan tuloksia, arvioidaan käytössä ollut siirtokonsepti ja esitellään suositukset Metsolle myöhempiä vastaavia siirtoja ajatellen.

2 Metso lyhyesti

2.1 Metso-konserni ja Flow Control Oy

Metso Oyj on kansainvälinen yhtiö, joka toimittaa teknologioita ja palveluita kaivos-, kivenmurskaus-, kierrätys-, öljy-, kaasu-, massa-, paperi- ja prosessiteollisuuksille. Vuonna 2016 yhtiön liikevaihto oli noin 2,6 miljardia euroa ja se työllistää yli 11 000 henkeä yli 50 maassa ja kuudella mantereella. Metso-konserni jakaantuu kahteen raportointisegmenttiin, eli Metso Mineralsiin ja Metso Flow Controliin. Minerals-raportointisegmentti muodostuu kahdesta liiketoiminta-alueesta: Minerals Capital ja Minerals Services. Flow Control -raportointisegmentti on kokonaan oma liiketoiminta-alueensa. Minerals Capitalin pääasialliset toimialat ovat kivenmurskaus, kaivosteollisuus ja kierrätys, joihin Minerals Services tarjoaa kulutusratkaisuja, varaosia ja teknisiä palveluita. Flow Control -liiketoiminta-alue toimittaa venttiileitä ja pumppuja sekä virtauksen säädön ratkaisuja. Raportointisegmenteistä suurempi on Minerals, jonka liikevaihto oli vuonna 2016 1,96 miljardia euroa, kun taas Flow Controlin liikevaihto oli 630 miljoonaa euroa. Kummatkin raportointisegmentit ovat myös itsenäisiä osakeyhtiöitä, eli Metso Minerals Oy ja Metso Flow Control Oy. (Metso Oyj, 2016)

Flow Control Oy jakaantuu neljään liiketoimintalinjaan, jotka ovat Service-, Valves-, Pumps- ja Valve Controls -liiketoimintalinjat. Liiketoimintalinjat ovat vastuussa omasta liiketoiminnastaan voittoineen ja tappioineen. Tuotanto ei kuitenkaan kuulu yhteenkään liiketoimintalinjaan vaan on niiden kaikkien yhteinen tukitoiminto, Global Operations. Muita tukitoimintoja liiketoimintalinjoille ovat muun muassa Sales Development and Marketing, Finance and Business Control ja Human Resources.

Global Operations -toiminnon alle kuuluvat kaikki Metso Flow Controlin valmistukseen ja kokoonpanoon liittyvät toiminnot. Näitä ovat muun muassa venttiilitehdas Vantaan Hakkilassa, venttiilitehdas Shanghaissa Kiinassa, tehdas Shrewsburyssa USA:ssa, istukka-venttiilitehdas Korean Chungjussa sekä pumpputehdas Ruotsin Salassa. Global Operations -toimintoon kuuluu useita muitakin toimipisteitä, mutta edellä on lueteltu suurimmat

valmistuspaikat. Vantaan Hakkilassa sijaitsevassa tehtaassa tehdään venttiileitä, toimilaitteita, venttiiliohjaimia eli asennoittimia sekä näiden yhdistelmäkokoontia tarvittavien instrumentointien kanssa. Instrumentointeja ovat esimerkiksi venttiiliyhdistelmän toimintanopeuteen vaikuttavat boosterit ja pikapoistot, paineilman suodatinsäätimet, sekä rajakytkimet ja muut venttiiliyhdistelmän mukana toimitettavat lisäosat. Tehtaan tuottama venttiiliyhdistelmien määrä on noin 25 000 kappaletta vuodessa, minkä lisäksi kaikkia komponentteja, eli venttiileitä, toimilaitteita ja asennoittimia toimitetaan erillisinä tuotteina asiakkaille. Asennoitintehdas, johon diplomityö tehtiin, valmistaa vuodessa noin 60 000 asennoitinta, joista noin puolet siirtyvät Hakkilan yhdistelmäkokoontaan, noin 20 % muihin Metson omiin yhdistelmäkokoontoihin ja loput reilu neljäsosa toimitetaan irrallisina laitteina asiakkaille. Irralliset laitteet ovat joko korvauslaitteita vanhojen asennoittimien tilalle tai ulkopuoliseen yhdistelmäkokoontaan meneviä osia.

Yhdistelmäkokoontia tarkoittaa työvaihetta, jossa eri komponenteista kootaan venttiiliyhdistelmä. Tyypillisesti venttiiliyhdistelmä koostuu venttiilistä, toimilaitteesta ja venttiiliohjaimesta. Näiden lisäksi venttiiliyhdistelmään tarvitaan aina komponenttien väleille liitososat, joilla komponentit liitetään toisiinsa, sekä signaalikaapelit ja paineilmaputket. Signaalikaapelia pitkin tuodaan venttiiliohjaimelle ohjaustietoa ja luetaan venttiiliohjaimelta erilaista dataa. Paineilmaputkillä ohjataan toimilaitteen käyttöpainetta toimilaitteen ja sitä kautta venttiilin liikuttamista varten. Peruskomponenttien lisäksi venttiiliyhdistelmiin voidaan lisätä instrumentointia suorituskyvyn parantamiseksi. Kuvassa 1 on Metsolle tyypillinen venttiiliyhdistelmä, jossa näkyvät venttiiliohjain, toimilaite, venttiili sekä näiden komponenttien väliset liitososat.



Kuva 1, Venttiiliyhdistelmä.

2.2 Asennoitintehdas

Asennoitintehdas on yksi kokoonpanon arvovirtoja palvelevista komponenttitehtaista. Muut arvovirroista irrallaan olevat yksiköt ovat toimilaitetehdas, koneistus ja maalaamo. Arvovirrat, joissa yhdistelmäkokoonpanoja ja venttiileitä tehdään, on suunniteltu kysynnän ja tarjonnan jakautumisen mukaisesti. Arvovirroista koostuu tehtaan päävirta, jossa tuotetaan Flow Controlin päätuotteita. Kaikki edellä mainitut tuotannon osat kuuluvat Flow Control -liiketoiminta-alueen Global Operations -toiminnon Hakkilan tehtaaseen. Venttiileitä, toimilaitteita ja venttiiliyhdistelmiä tuotetaan myös muista Global Operations -toiminnon yksiköistä, mutta asennoittimia tehdään vain Vantaalla Hakkilassa. Asennoitintehdalla valmistetaan venttiiliohjaimia eli asennoittimia. Tehdas itsessään on melko pieni yksikkö, jossa työskentelee noin 30 henkilöä. Työ

tehtaalla on lähinnä kokoonpanotyötä, jossa valmiit osat tai osakokoonpanot liitetään yhteen toimiviksi kokonaisuuksiksi, testataan ja lähetetään asiakkaille.

Asennoitintehdas on koko olemassaolonsa ajan ollut itsenäinen osa Metson Helsingin tehdasta, jonka päätehtävänä on ollut tuottaa venttiiliohjaimia yhdistelmäkokoonpanon tarpeisiin. Helsingin tehtaan päätuotteita ovat yhdistelmäkokoonpanot jonka osana asennoittimia toimitetaan. Vähitellen asennoittimia on alettu enenevissä määrin myydä myös ulkopuolisille toimijoille. Tällaisia ulkopuolisia toimijoita ovat muun muassa eri loppuasiakkaiden projektien suunnittelusta, ostoista ja rakentamisesta vastaavat yritykset, eli Engineering, Procurement and Construction -yritykset (EPC), sekä etenkin sellaiset venttiili- ja toimilaittevalmistajat, jotka myyvät yhdistelmäkokoonpanoja eteenpäin, mutta joilla ei ole omaa asennoitinta tuotevalikoimassaan. Näitä yrityksiä kutsutaan nimellä Original Equipment Manufacturer (OEM). Riippumatta siitä mitä kautta asennoittimia myydään, päätyvät ne aina loppuasiakkaan prosessia ohjaamaan. Metso Flow Control Oy:n loppuasiakkaiden yleisimmät toimialat ovat paperi- ja selluteollisuus, sekä öljy- ja kaasuteollisuus. Lisäksi loppuasiakkaita on muun muassa energia-, ruoka- ja juoma-, kaivos- ja maanrakennus-, sekä vesi- ja jätevesiteollisuuksissa.

Asennoitintehdas on ehtinyt muuttaa Metson Helsingin tehtaan mukana muutamaan kertaan uusiin toimitiloihin. Viimeisin muutto tapahtui vuonna 2011 kun koko Helsingin tehdas muutettiin Vantaan Hakkilaan valmistuneeseen, Metsolle suunniteltuun tehdasrakennukseen. Muuton yhteydessä kaikki Helsingin tehtaan toiminnot saatiin ensimmäistä kertaa samaan rakennukseen ja toiminnot olivat mahdollista virtauttaa entistä paremmin. Tässäkin yhteydessä asennoitintehdas päätettiin pitää irrallisena, tuotannon päävirroista erillisenä, virtoja syöttävänä yksikkönä. Syinä tähän päätökseen olivat asennoitintuotannon huomattavan lyhyet läpimenoajat verrattuna muihin tuotteisiin, sekä se että asennoittimista iso osa toimitetaan ohi tuotannon päävirran irrallisina laitteina.

2.2.1 Historia ja pääluvut

Asennoitintehtaan historia alkoi vuonna 1961, kun ensimmäiset asennoittimet valmistettiin. (Koskinen, 2003) Tuolloin asennoittimissa ei ollut elektroniikkaa, vaan niitä ohjattiin paineilmalla. Ohjauspaine sai asennoittimen reagoimaan halutulla tavalla ja varsinainen käyttöpaine ohjattiin asennoittimen avulla venttiiliä käyttävälle toimilaitteelle. Näin venttiili saatiin ohjattua oikeaan asemaan. Tällöin myös prosessin virtaus saatiin halutulle tasolle. Pneumaattisten asennoittimien jälkeen kehitettiin niin sanottu elektro-pneumaattinen asennoitin, jota ohjattiin sähkövirralla. Sähkövirta johdettiin kelalle, jossa indusoitumisesta aiheutuvaa voimaa käytettiin avaamaan ja sulkemaan esiohjauspaineen virtausta. Esiohjauspaine taas sääтели luistiventtiilin asemaa, jonka avulla käyttöpaine johdettiin halutulla tavalla toimilaitteelle. Näiden kahden ensimmäisen tuotteen, pneumaattisen ja elektro-pneumaattisen asennoittimen, uudemmat versiot ovat edelleen tuotannossa Metson asennoitintehtaalla. Niiden yhteenlaskettu osuus kaikista valmistetuista tuotteista on edelleen noin 20 %.

1990-luvun lopulla tietojenkäsittely ja digitaaliset komponentit otettiin käyttöön myös Metson asennoittimissa. Tästä alkoi digitaalisten asennoittimien kehittäminen ja ensimmäinen digitaalinen asennoitin ND800 valmistettiin vuonna 1996. ND800 asennoitinta seurasi VG800 turvalaite, jonka tarkoituksena oli toimia hätäsulku- tai hätäavausventtiileiden ohjaajana. Molemmista kehitettiin uudemmat versiot periaatteessa yhteiselle alustalle, jolloin sarjamerkinnäksi muuttui 9000, eli kehitettiin ND9000 ja VG9000 venttiiliohjaimet. Ohjainten 800 sarja on sittemmin poistunut valikoimasta ja suurin osa nykyisin asennoitintehtaalla tuotetuista laitteista edustaa 9000 sarjaa. ND:n ja VG:n rinnalle on tullut myös SG venttiiliohjain ja kaikkiin edellä mainittuihin on vuosien aikana tehty parannuksia sekä uusia ominaisuuksia.

Asennoitintehdas tuottaa yli 60 000 asennoitinta vuodessa. Näistä noin 40 000 on Neles Digital -tuoteperheen (ND) asennoittimia, noin 12 000 on vanhempia Neles Electro-Pneumatic -tuoteperheen (NE) tai Neles Pneumatic -tuoteperheen (NP) tuotteita ja loput, muutama tuhat kappaletta vuodessa

kuuluvat ValvGuard -tuoteperheeseen (VG) tai SwitchGuard -tuoteperheeseen (SG). Asennoittimien toimitusaika vaihtelee varastoitavien tuotteiden yhdestä viikosta monimutkaisimpien tuotteiden neljään viikkoon. Jotkin erikoisrakenteet, kuten erityismaalaukset tai vastaavat voivat nostaa toimitusaikaa yli neljän viikon, mutta kaikki peruslaitteet toimitetaan kuukaudessa tilauksesta. Tämä aiheuttaa haasteita tuotannon suunnittelulle sekä osien varastohallinnalle. Mikäli osia ei ole varastossa tai kapasiteetti ei ole oikein jaettu tuotannon eri soluihin, ei luvattuun neljän viikon toimitusaikaan päästä. Läpimenoaika asennoittimilla on huomattavan lyhyt verrattuna laitteen monimutkaisuuteen. Se vaihtelee tuoteperheestä riippuen muutamasta minuutista pariin tuntiin. Tämä on saatu aikaan tuotannon tehostamistoimenpiteillä, kuten hallitulla osakokoonpanojen ulkoistamisella ja tuotannon virtauttamisella Lean-oppien mukaisesti. Lyhyt läpimenoaika ja aktiivinen tuotannonsuunnittelu mahdollistavat asennoitintehtaalle todella korkean toimitusvarmuuden, joka on yksi korkeimmista koko Metson sisällä.

2.2.2 Johtamismalli

Metson asennoitintehtaalla, kuten koko Metsossakin, on käytössä Lean-menetelmiin ja ISO 9001 -standardiin perustuva johtamismalli. Tämän johtamismallin perusideana on jatkuva parantaminen ja ongelmien juurisyiden löytäminen mahdollisimman nopeasti. Samoin mallin tavoitteena on jalkauttaa yrityksen strategiaa tehtaalle mahdollisimman tehokkaasti tehtaan johdosta alkaen. Johtamismallin perustana toimivat säännölliset organisaatiotasosta riippuen eri sykleissä pidettävät palaverit, vakioitu tuotannon toimivuuden seuranta +QDIP (Safety, Quality, Delivery, Inventory, Productivity), sekä juurisyyanalyysimalli PDCA (Plan, Do, Check, Act). Tehtaan ja koko Metson strategiaa tarkastellaan ja muokataan muutaman vuoden sykleissä. Strategiaa jalkautetaan tehtaalle ja isoimpia ongelmia ja projekteja käsitellään tehtaanjohdon kuukausipalavereissa. Osaston palaverit pidetään viikkotasolla ja siellä käsitellään osaston sisäisiä asioita, kuten +QDIP-seurantaa, sekä PDCA-kierrossa olevia asioita. Samalla tehtaan johdon jalkauttamaa strategiaa toteutetaan osastotasolla. Tiheimmin palavereita pidetään tuotannon työntekijöiden ja työnjohtajan välillä, kun

tehtaan toimintaa käydään läpi lyhyissä, noin 15 minuutin palaverissa kerran päivässä tai jopa kerran työvuorossa. Näissä lähimpänä varsinaista kokoonpanoa pidettävissä palaverissa seurataan tiiviisti +QDIP-malliin perustuvia asioita, sekä nostetaan esille tuotannossa mahdollisesti olevat ongelmat. Käytännössä ongelmat löytyvät käymällä +QDIP-seurannan kaikki kohdat kattavasti läpi.

Johtamismallin +QDIP-seuranta tarkoittaa siis tuotannon toimivuuden seuraamista. Ensimmäinen merkki, eli '+' tarkoittaa turvallisuutta, tässä osiossa seurataan paitsi tapahtuneita tapaturmia, myös sitä kuinka aktiivisesti turvallisuushavaintoja on tehty. Periaatteena on se, ettei yksikään työpaikka maailmassa ole täysin turvallinen, vaan aina on löydettävissä kohteita, joiden turvallisuutta voidaan parantaa. Tarkoituksena on kannustaa työntekijöitä tekemään mahdollisimman paljon turvallisuuspoikkeamahavaintoja, joita ratkomalla ja parantamalla saadaan tuotannosta entistä turvallisempi työympäristö. Toisena tarkastellaan laatua, eli merkkiä 'Q', Quality. Tässä osiossa käydään läpi sekä valmistettujen laitteiden laatu, esimerkiksi testausasemien saantojen osalta, mutta myös saapuvien osien laatu, joka saattaa vaikuttaa valmiiden tuotteiden laatuun tai kokoonpantavuuteen. 'D'-osiossa tarkastellaan toimituksia ja kirjain tulee sanasta Delivery. Käytännössä keskitytään tehtaan toimitusvarmuuteen ja sen parantamiseen. Inventory-osiossa ('I') tarkastellaan tehtaan varastojen tilannetta, sekä mahdollisia osapuutteita. Näin olemassa olevat tai uhkaavat osapuutteet saadaan tietoon mahdollisimman nopeasti ja tehtaan ostolle jää usein aikaa tehdä korjaavia toimenpiteitä jo ennen kuin osapuute näkyy tuotannossa. Viimeinen kohta 'P' eli Productivity tarkoittaa tehtaan tuottavuutta. Tätä seurataan tehtyjen työtuntien ja valmistuneiden laitteiden standardiajan suhteena. Ideaalitilanteessa kaikki työtunnit käytettäisiin suoraan laitteiden tekemiseen, eli suhdeluku olisi yksi. Käytännössä osa työajasta menee kuitenkin aina johonkin muuhun, kuten esimerkiksi erilaisiin selvittelyihin, jos vaikkapa työohjeet eivät ole kunnossa tai muutoksesta ei ole muistettu kommunikoida tehtaalte, testereiden huoltamiseen tai muuhun vastaavaan. Pitämällä kirjaa näistä niin sanotuista hukkatunneista, saadaan selville tuotantoa jarruttavat tekijät. Näitä hidastavia tekijöitä voidaan poistaa ja

samalla helpottaa tuotannon työntekijöiden työskentelyä. Mikäli jossain +QDIP-seurannan osiossa on normaalista tai tavoitteesta poikkeavia havaintoja, käydään niiden syyt läpi heti palaverin aikana. Näin työntekijät voivat tuoreeltaan kertoa mistä johtuivat esimerkiksi osapuutteet, laadun heikkous tai normaalia korkeampi tuottavuus. Myös erityisen positiivisten tulosten syyt pyritään avaamaan ja niistä yritetään oppia, jotta vastaaviin hyviin tuloksiin päästäisiin yhä useammin.

Silloin tällöin +QDIP-palaverista nousee esille isompia ongelmia, joita varten avataan niin sanottu PDCA-silmukka. Tämä tarkoittaa sitä, että ongelman korjaamista varten tehdään ensin suunnitelma (Plan), joka sitten toteutetaan (Do) siellä missä ongelma on. Tällainen PDCA:ta vaativa ongelma voi olla esimerkiksi toimittajan jatkuva huono laatu jossain osassa tai tuotannon testerin systemaattinen virhe. Korjauksen suorittamisen jälkeen ongelma siirtyy seurantavaiheeseen, jossa tarkastellaan korjaustoimenpiteen vaikutusta ongelmaan (Check). Tarkastelun perusteella tehdään päätös siitä tarvitseeko ongelmaan vielä puuttua (Act) vai voidaanko se katsoa korjatuksi. Tämä silmukka on hyvin tehokas ongelmien juurisyiden korjaamiselle, sillä mikäli ensimmäinen korjaava toimenpide ei ollut oikea, pakottavat Check- ja Act-vaiheet laatimaan uuden korjaussuunnitelman ja toteutuksen ongelman poistamiseksi.

Johtamismallin kaikkein tärkeimpänä osana on työturvallisuus ja sen seuraaminen on tarkkaa Metsolla. Työturvallisuuden mittarina käytetään LTIF-lukua, joka kertoo, kuinka monta vähintään päivän mittaiseen työkyvyttömyyteen johtanutta tapaturmaa työpaikalla on tapahtunut miljoonaa tehtyä työtuntia kohden. LTIF-lyhenne tulee sanoista Lost Time Injury Frequency. Tämä luku ei ota huomioon pieniä, hoitoa vaativia tapaturmia, joista ei seuraa vähintään päivän poissaoloa töistä, mutta antaa hyvän kuvan työpaikan turvallisuudesta. Tärkeänä osana työturvallisuuteen panostamista on myös työturvallisuuteen liittyvien tekojen palkitseminen, jota Metsolla tehdään siten, että LTIF-luku on osana bonusjärjestelmää. Hyvän toiminnan, eli tässä tapauksessa turvallisuushavaintojen tekemisen palkitseminen johtaa siihen että toimintaa jatketaan (Stolzer;Halford;&

Goglia, 2011). Työturvallisuuteen panostaminen on selvästi vaikuttanut Metson työturvallisuuteen parantavasti, sillä vuonna 2010 Metson LTIF-luku oli 12,4 (Metso Oyj, 2011) ja vuonna 2016 vastaava luku oli 2,4 (Metso Oyj, 2016).

2.2.3 Alihankinta

Alihankinta mahdollistaa yrityksen keskittymisen ydinosamiseksi. Metson asennointitehtaan tapauksessa ydinosamiseksi ovat kokoonpano, testaus ja tuotekehitys. Tuotekehitys tapahtuu omassa yksikössään, mutta kokoonpano ja testaus tapahtuvat nimenomaan asennointitehtaalla. Kokoonpanotyö on normaalisti mahdollista ja jopa kannattavaa ulkoistaa, mutta asennointimien tapauksessa se on haluttu pitää omalla tehtaalla. Venttiiliohjainten kokoonpano ja testaus ovat asennointitehtaan ydinosamiseksi, joilla varmistetaan laadukas lopputuote.

Lähes kaikki asennointitehtaalla käytettävät osat ja osakokoonpanot tulevat tehtaalle alihankkijoilta, eli sopimusvalmistajilta. Tällaisia osia ja osakokoonpanoja ovat muun muassa kotelo, luistiyksikkö, elektroniikkakortit, kansi ja esiohjauksyksikkö. Osille tehdään asennointitehtaalla vastaanottotarkastus, jonka jälkeen ne kokoonpannaan toimiviksi laitteiksi.

Asennointitehtaalla on yhteensä noin 60 eri toimittajaa, joilta hankitaan osia kokoonpanoa varten. Näistä jälleenmyyjiä ja standarditavaran toimittajia on noin kymmenen ja loput noin 50 valmistavat osia tai kokoonpanoja asennointitehtaalle Metson piirustusten ja ohjeiden mukaisesti. Aineeton pääoma, kuten osien ja kokoonpanojen piirustukset ovat Metson omaisuutta ja sopimusvalmistajan vastuulla on tuotteen valmistus näiden dokumenttien mukaisesti. Riippuen ostettavasta osasta, jotkut niistä täytyy vielä tarkastaa tai testata Metson ohjeiden mukaisesti.

Metsolla on tarkat kriteerit siitä millaisia sen alihankkijoiden ja näiden alihankkijoiden pitää olla ja minkä kriteereiden pitää täyttyä, jotta Metson alihankkijaksi pääsee. Eettiset kriteerit on kuvattu tarkasti Metson kestävä kehityksen kriteerit toimittajalle -dokumentissa, joka pohjautuu Metson

vuonna 2006 allekirjoittamaan YK:n Global Compact -aloitteeseen (United Nations, 2017), Kansainvälisen kauppakamarin (ICC) kestävän kehityksen peruskirjaan (International Chamber of Commerce, 2015), sekä Kansainvälisen työjärjestön (ILO) määrittelemiin työntekijöiden perusoikeuksiin (Oechslin & Hansenne, 1998). Kyseessä on 11 kohdan lista niistä vaatimuksista, joita noudattavan alihankkijan Metso tietää toimivan eettisesti kestävien periaatteiden mukaisesti. Metso ei hyväksy alihankkijakseen sellaista yritystä, joka ei toimi näiden periaatteiden mukaisesti. Tämän lisäksi alihankkijoiden tuotanto auditoidaan aina vähintään kategoriamanagerin sekä ostajan toimesta. Jos kyseessä on osa, jota käytetään räjähdyskriittisissä laitteissa, auditointiin osallistuu Metsossa työskentelevä, akkreditoidun hyväksyntälaitoksen valtuuttama auditoija. Auditoija voi antaa tuotantolaitosta koskevan laajennuksen Metson Quality Assurance Notification -sertifikaattiin (QAN), mikäli tuotantolaitos täyttää hyväksyntälaitoksen asettamat vähimmäiskriteerit. QAN-sertifikaatti on akkreditoidun sertifiointilaitoksen myöntämä vakuutus siitä, että kyseinen tuotantolaitos on riittävän laadukas tuottamaan Atex-laitteissa käytettäviä osia tai laitteita. Asennoitintehtaan osista suurin osa on Atex-hyväksyttyjä tuotteita, joten myös alihankkijoiden tuotannon pitää olla QAN-sertifioitu.

Edellisessä kappaleessa mainittujen vaatimusten lisäksi Metso vaatii, että alihankkijan tuotanto täyttää vähintään ISO 9001 -standardin mukaiset vähimmäisvaatimukset ja mielellään myös ISO 14001 - sekä OHSAS 18001 -standardien vähimmäisvaatimukset. ISO 9001 määrittelee tuotannon minimilaatujärjestelmän sekä johtamisjärjestelmän. Yhtenä ISO 9001 -standardin vaatimuksena on kriittisten tuotteiden jäljitettävyyden koko tuotantoketjun läpi. Tämä on tärkeä osa laatujärjestelmää siksi, että jos lopputuotteessa havaitaan jokin vakava vika, on sen juurisyy löydettävä ja vialliset komponentit on tunnistettava toimitusketjusta. Näin saadaan vialliset tuotteet pois toimitusketjusta ja tarvittaessa vialliset lopputuotteet saadaan vedettyä pois markkinoilta, sekä jo toimitetut tuotteet pois prosesseista, joissa ne saattavat aiheuttaa vakaviakin onnettomuuksia. Koska Metso vaatii ISO 9001 -standardin mukaista laatujärjestelmää kaikilta sen toimittajilta on myös jäljitettävyyden turvattu kaikkien tärkeimpien komponenttien osalta. Jokainen

pääkomponentti saa yksilöllisen sarjanumeron alihankkijan tuotantoprosessissa. Tämän sarjanumeron perusteella voidaan jäljittää esimerkiksi viallinen tuotantoerä tai käytetty komponentti. ISO 14001 käsittelee tuotannon ympäristöä ja sen huomioon ottamista ja OHSAS 18001 on työterveys- ja työturvallisuusjohtamisen standardi.

3 Tuotannon siirtäminen

3.1 Taustaa

Termi ”tuotannon siirtäminen” käsittää monia erilaisia siirron muotoja. Tuotannon siirto voi tapahtua maantieteellisesti tai tuotanto saatetaan siirtää uudelle toimijalle, eli eri yksikön hallintaan. Maantieteellinen siirto voi tapahtua maan sisällä (kotimaan siirto), toiseen maahan tai toisesta maasta takaisin yrityksen kotimaahan (ulkomaan siirto). Valmistavan yksikön vaihtuminen voidaan jakaa joko sisäiseen muutokseen, jolloin siirto tapahtuu yrityksen sisällä toiseen tuotantolaitokseen tai ulkoistamiseen, jolloin siirto tapahtuu yritykseltä toiselle. Tuotannon siirtäminen perustuu aina kahteen yrityksen sisäiseen päätökseen; missä tuotantoa halutaan tehdä (sijainti) ja halutaanko tuotetta tehdä itse vai ostaa. (Kinkel, 2012)

Tuotannon siirtoa on tutkittu ja siitä on kirjoitettu jo 1970-luvun lopulta lähtien ja jo ensimmäisistä vuosista alkaen tuotannon ulkoistamisen ja ulkomaille siirron suurimpana perusteena on ollut siirto halvemman työvoiman maihin. Työvoimakustannukset ovat suuri kuluerä lähes kaikessa tuotannossa pois lukien täysin automatisoitu tuotanto. Kun työ tehdään halvemman työvoiman maassa, säästetään valmistuskustannuksissa helposti suuria summia rahaa. Säästön suuruus riippuu tietenkin aina tuotteesta ja tuotannosta ja erityisesti siitä, kuinka suuri on tuotannon käsityön osuus. Työvoimakustannukset eivät kuitenkaan ole ainoa syy tuotannon siirtämiselle. Muita merkittäviä syitä ovat uusille markkinoille pääsy, avainasiakkaiden läheisyys, uuden osaamisen hankkiminen sekä verokannustimet ja verojen aleneminen. (Kinkel, 2012)

Hieman eri syyt ajavat tuotannon siirtämiseen takaisin ulkomailta tai yhdistettäväksi takaisin omaan tuotantoon. Tuotannon siirtämiseen ulkomailta takaisin kotimaahan vaikuttavat kansainvälistymisen esteet, kuten taloudellisten resurssien puute, ulkomaisen toimijan tietotaidon puute ja yli maiden rajojen organisaatioita ja tuotantoa johtamaan kykenevien henkilöiden puute. (Kinkel, 2012) (Lewin & Peeters, 2006)

Vaikka tuotannon siirtoja on tehty jo pitkään, alkoivat ne yleistyä kunnolla vasta 1990-luvun lopulla ja 2000-luvulla. Vuonna 2006 Arie Y. Lewinin ja Carine Peetersin kirjoittaman artikkelin ”Offshoring work: Business Hype or the Onset of Fundamental Transformation” (2006) mukaan tuolloin oli nähtävissä, että tuotannon siirtäminen ulkomaille on edelleen alkutekijöissään, mutta kasvamassa nopeasti. Yritysten välisen kilpailun kiristytessä entisestään useat yritykset lähtivät siirtämään tuotantoaan halvemman työvoimakustannuksen perässä ulkomaille. Tuotantoaan ulkomaille siirtäneet yritykset raportoivat jopa odotettua suuremmista kustannussäästöistä ja odotettua paremmasta palvelutasosta ulkomailla. Lewinin ja Peetersin mukaan tuotannon siirrot ovat kuitenkin helposti kopioitavissa, eivätkä siten voi tuoda pysyvää etua kilpailussa muita yrityksiä vastaan. Lisäksi tuotannon siirtojen kiihtyvä tahti aiheuttaa paineita nostaa palkkoja ja työn hintaa myös halvemman työvoimakustannuksen maissa. Näistä syistä myös Lewin ja Peeters ovat sitä mieltä, että yritysten motiivit siirtää tuotantoaan ulkomaille eivät enää ole pelkästään kustannusten pudottaminen, vaan entistä enemmän siirtojen tarkoituksena on päästä kehittyville markkinoille, sekä mahdollistaa entistä paremmin innovaatioiden syntymistä ja yrityksen kasvua. (Lewin & Peeters, 2006)

Samaan aikaan, kun trendi tuotannon siirtämisessä ulkomaille näyttää olevan kasvussa, puhutaan myös paljon tuotannon palauttamisesta lähtömaahan. Kirjallisuudessa ja tutkimuksissa syiksi tälle paluumuutolle on esitetty useita:

- Polttoaineen ja muiden kuljetuskustannusten nousu.
- Työvoimakustannusten nousu halvempien työvoimakustannusten maissa.
- Työtehokkuuden paraneminen korkeampien työvoimakustannusten maissa.
- Aineettoman omaisuuden kuten suunnittelutiedon varastaminen.
- Lean-ajattelumallin mukainen nopea reagointikyky asiakkaan tarpeisiin lyhyemmällä toimitusketjulla.

USA:ssa suoritettiin vuonna 2012 ReasearchOne nimisen tutkimuslaitoksen toimesta kysely, jossa kysyttiin tuotannon siirtämiseen vaikuttavia tekijöitä organisaatioilta, joilla oli valmistusta ulkomailla. Organisaatioita pyydettiin myös arvioimaan houkuttelevuutta tuotannon sijoittamiselle niille alueille, joilla heillä itsellään oli valmistusta. Vastauksia tutkimukseen saatiin yhteensä 319 kappaletta ja näitä analysoimalla selvitettiin tulevaisuuden näkymiä tuotannon osalta maailman eri alueilla. Tutkimuksen mukaan syyt sijoittaa tuotantoa eri alueille vaihtelivat huomattavasti alueesta riippuen. Tutkimuksessa selvisi, että paluumuuttoa tuotannon osalta Pohjois-Amerikkaan ja Eurooppaan oli tapahtunut jo merkittävästi ja molemmat alueet nähtiin edelleen houkuttelevina kohteina tuotannon sijoittamiselle. Euroopassa työvoimakustannusten kehittyminen ja Pohjois-Amerikassa toimitusketjujen luotettavuus ja hallinnon kauppapolitiikka suosivat eniten tuotannon sijoittamista takaisin näille alueille. Itä-Aasian kohdalla houkuttelevuus oli laskenut aikaisemmasta johtuen lähinnä toimitusketjun katkeamiseen liittyvistä riskeistä. Toisaalta työn tehokkuus oli tutkimuksen mukaan parantunut tällä alueella. Intiassa ja Etelä-Aasiassa houkuttelevuus oli melko neutraalia, mutta suurimpana riskinä nähtiin pätevien tuotannon johtajien löytäminen näiltä alueilta. Afrikka ja Lähi-itä koettiin kaikkein riskialtteimmiksi paikoiksi lähinnä terrorismin ja ihmisoikeuksien polkemisen takia. Lähi-idässä hallinnon kauppapolitiikka koettiin kuitenkin positiiviseksi asiaksi. Etelä-Amerikka oli myös tutkimuksen mukaan melko neutraali houkuttelevuudeltaan. Tällä alueella nähtiin kuitenkin pientä kehittymistä tuotannon tehokkuuden osalta, mutta samalla pientä riskiä toimitusketjujen luotettavuudessa. Oseania nähtiin siinä mielessä positiiviseksi kohteeksi tuotannolle, että työvoiman saatavuus oli hyvällä tasolla, mutta samalla Oseanian saavutettavuus, eli sinne liikkumisen vaikeus koettiin riskinä. Tämänkin tutkimuksen mukaan yritykset keskittyvät tuotannon siirroissaan yhä enemmän tuotteidensa kokonaiskustannuksiin, tuottavuuteen ja asiakasarvon tuottamiseen mieluummin, kuin pelkästään työvoimakustannuksiin. Tämä aiheuttaa sen, etteivät tuotannon siirrot enää ole yksisuuntaisia halvemman työvoiman maihin päin, vaan tuotantoa siirretään myös takaisinpäin. Tutkimuksen mukaan tuotannon siirtoja tullaan

kuitenkin tekemään entistä enemmän tulevaisuudessa, niiden tavoitteet vain muuttuvat perinteisestä työvoimakustannusten alentamisesta. (Ellram;Tate;& Petersen, 2013)

3.2 Riskit ja niiden havaitseminen

Riski voidaan määritellä jonkin tapahtuman todennäköisyyden tai esiintymistiheyden ja tuon tapahtuman aiheuttaman haitan vakavuuden yhdistelmänä (Tummala & Shcoenherr, 2011). Riski ei siis ole vain todennäköisyys jollekin tapahtumalle, vaan sen määritelmään kuuluu myös tapahtuman seurausten vakavuus. Jos tapahtuma on yleinen, mutta seuraukset eivät ole vakavia on riskitaso matala. Vastaavasti vaikka seuraukset tapahtumalle olisivat vakavat, mutta todennäköisyys tapahtumalle on pieni, pidetään riskitasoa myös pienenä.

Riskien hallintamalli on kuvattu ISO 31000 -standardissa. Siinä määritellään riskien hallinnan koostuvan kolmesta osasta: riskien havaitsemisesta, analysoimisesta ja arvioinnista. Riskien havaitseminen käsittää riskipaikkojen löytämisen, tunnistamisen ja riskin kuvaamisen tai mallintamisen. Riskien analysointi on prosessi, jossa pyritään tunnistamaan riskin luonne ja riskitaso, eli riskin todennäköisyys suhteessa sen aiheuttamaan haittaan. Riskiarviointi on vaihe, jossa riskianalyysin tuloksien perusteella arvioidaan, onko riski hyväksyttävä tai siedettävä. (The International Organization for Standardization, 2009)

Tuotannon siirtämiseen liittyy aina riskejä, joiden määrä ja riskitaso kasvavat sitä mukaa kun tuotannon monimutkaisuus lisääntyy. Osa riskeistä voi olla ennakoituja riskejä ja osa ennakoimattomia, mutta mitä paremmin ne tunnistetaan jo ennen siirtoprojektin aloitusta, sitä varmemmin siirtoprojekti onnistuu. Siirtoprojektit ovat kaikki erilaisia keskenään, johtuen erilaisista siirrettävistä prosesseista sekä siirron luonteesta. Siirto voi kohdistua entistä tuotantoympäristöä vastaavaan tai täysin erilaiseen ympäristöön ja siirron yhteydessä joko prosesseihin tai tuotteisiin voidaan joutua tekemään tai halutaan tehdä muutoksia. Koska siirtoprojektit ovat erilaisia keskenään,

myös projektiin liittyvät riskit ovat erilaisia. (Lengyel;Zgodavova;& Bober, 2012)

Yksi työkalu riskien havaitsemiseen ja analysointiin on Failure Mode Effect Analysis -metodi (FMEA). Tämä tekniikka on saanut alkunsa Yhdysvaltain armeijan riskien havaitsemisen prosesseista. FMEA tarkoittaa tiimipohjaista riskien esiintymistodennäköisyyksien ja havaitsemisen helppouden analysoimista, sekä riskin seurausten arviointia. Nämä kolme riskin ominaisuutta pisteytetään ja pisteiden tulosta saadaan riskin prioriteettinumero. Mitä korkeampi saatu luku on, sitä korkeampi on riskitaso. Menetelmä myös järjestää riskit prioriteettijärjestykseen, jonka perusteella osataan keskittyä oikean riskin hallintaan ensimmäisenä. Esimerkiksi riskin havaitsemisen helppoutta arvioitaessa tiimi pyrkii miettimään kuinka helposti riski on havaittavissa jos riski toteutuu, ja ehditäänkö havaitsemisen jälkeen reagoida seurauksiin ennen kuin tapahtuma vaikuttaa koko projektiin. Jos tiimi on sitä mieltä, että riskin realisoitumista ei voida helposti havaita, koska riski on niin sanotusti piilevä, saa se tästä osiosta korkeat pisteet. Jos taas riski on laadultaan sellainen, että sen realisoitumisen huomaa varmasti, saa se alemmat pisteet. Samalla tavalla käydään läpi jokaisen tunnistetun riskin kaikki kolme pisteytystä, havaitsemisen helppous, todennäköisyys riskin realisoitumiselle ja riskin vaikutukset. (Lengyel;Zgodavova;& Bober, 2012)

Slovakiassa Kosicen yliopistossa on kehitetty FMEA-menetelmää hyväksi käytävä roolipelisimulaatio SIMPRO-Q, toiselta nimeltään Quality Management System Role Play Simulation. SIMPRO-Q:n päätarkoituksena on opettaa laadun johtamista opiskelijoille ja eri organisaatioiden managereille. SIMPRO-Q:sta on kehitetty myös projektijohtamisen versio PT-SIMPRO-Q. Tätä projektijohtamisen simulointia voidaan hyödyntää myös tuotannon siirtoprojekteissa auttamaan riskien tunnistusta. Tavoitteena roolipelissä on tunnistaa, mallintaa, analysoida ja arvioida projektiin liittyviä riskejä sekä ennakoida ihmisten käyttäytymistä ja reagoitua siirtoprojektin eri vaiheissa. Peliin osallistuvat henkilöt saavat roolit, jotka pohjautuvat projektiorganisaatioon. Pelaajille annetaan erilaisia tehtäviä ja he täyttävät

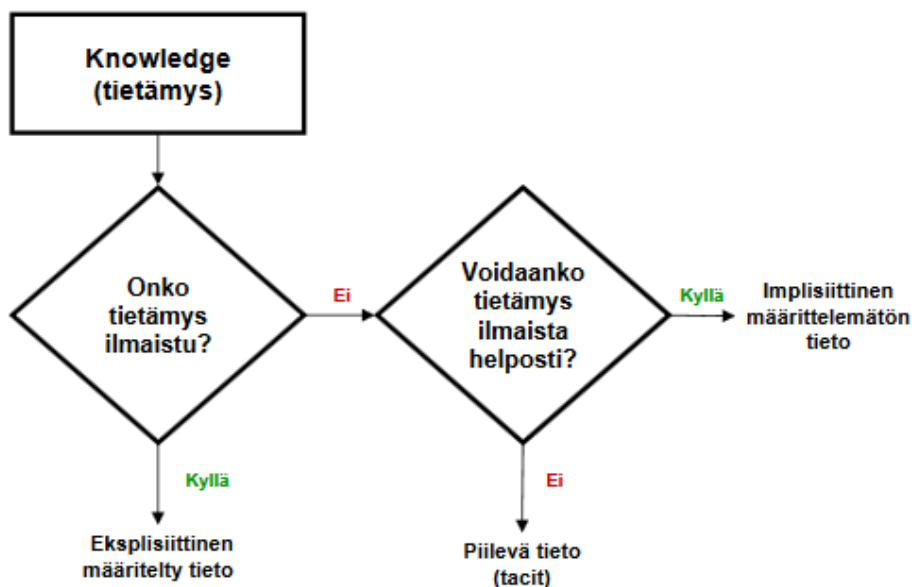
FMEA-dokumenttia samalla, kun suorittavat annettuja tehtäviä. Toisin sanoen pelaajat tunnistavat riskejä ja pisteyttävät niitä. Erona puhtaaseen FMEA-menetelmään on se, että samalla kun riskejä tunnistetaan ja pisteytetään, muutetaan prosessia lennossa siten, että riskejä saadaan eliminoitua tai pienennettyä. Tämän jälkeen riski pisteytetään uudelleen ja kun siedettävä riskitaso on saavutettu, siirrytään projektin vaiheissa eteenpäin. Kun koko projekti on simuloitu, on sen riskit paitsi tunnistettu ja pisteytetty, niihin on myös pyritty varautumaan etukäteen mahdollisimman hyvin. (Lengyel;Zgodavova;& Bober, 2012)

Helposti tunnistettava riski kaikissa siirtoprojekteissa on tuotannon katkeaminen. Tämä koskee varsinkin pienempiä yrityksiä, joilla ei siirron budjetti mahdollista kaksien tuotantovälineiden hankkimista ja tuotannon tekemistä yhtä aikaa kahdessa tuotantolaitoksessa. Yhtenä ratkaisuna tähän voisi olla tuotannon siirtäminen vapaapäivien aikana, mutta jos yritys toimii ympärivuotisesti ilman katkoksia, tai vapaapäiviä ei ole tarpeeksi peräkkäin tuotannon siirtämiseen, ei tämä ratkaisu tule kysymykseen. Patrick Pujo, Massimo Pedetti ja Norbert Gaimbiasi ehdottavat julkaisussaan ”Formal DEVS modelling and simulation of a Flow-Shop relocation method without interrupting the production” ratkaisuksi toimintojen vaiheittaista siirtämistä uuteen tuotantolaitokseen yhdessä puolivalmistuotepuskureiden kanssa siten, että tuotanto ei lainkaan keskeydy. Kyseisessä julkaisussa tuotantoprosessi mallinnettiin ja simuloitiin käyttämällä DEVS-mallinnusta (Discrete event system specification). Esimerkissä tuotantoprosessissa oli eri vaiheita, jotka käyttivät edellisen vaiheen tuottamia tuotteita omana raaka-aineenaan ja syöttivät taas tuottamansa tuotteet seuraavan vaiheen raaka-aineiksi, kunnes viimeisestä vaiheesta saatiin valmis tuote. Mallinnuksen avulla selvitettiin kuinka suuri puskuri pitää tietyn vaiheen jälkeen olla valmiina, ennen kuin kyseinen vaihe voidaan siirtää uuteen tuotantolaitokseen. Kun puskurien koko oli määritelty oikein, ei tuotannon siirto aiheuttanut lainkaan tuotantokatkoksia prosessiin. Puskurivarastojen määrittely on suoraviivainen laskutoimitus, jossa kerrotaan keskenään tuotantomäärä per aikayksikkö ja aikayksikköjen määrä, johon puskurivarastolla pitää varautua. Tämä voidaan esittää kaavalla 1,

$$Q = C_p * t_{mov}, \quad (1)$$

missä Q on puskurivaraston koko, C_p on tuotantomäärä per aikayksikkö ja t_{mov} on siirtoon varattu aika. (Pujo;Pedetti;& Giambiasi, 2006)

Yleisesti tunnistettu riski tuotannon siirroissa on myös hiljaisen tiedon katoaminen. Tieto voidaan määritellä kolmeen kategoriaan sen mukaan, miten tietoa voidaan ilmaista. Nämä kategoriat ovat määritelty tieto, piilevä tieto ja näiden väliin sijoittuva implisiittinen tieto. Määritelty tieto tarkoittaa sellaista informaatiota, joka on ilmaistu useimmiten tekstin muodossa. Tällainen tieto on helppo siirtää, sillä siirtämällä tiedon sisältävät dokumentit on sama määritelty tieto myös uuden henkilön käytettävissä. Implisiittisellä tiedolla tarkoitetaan sellaista tietoa, joka voidaan ilmaista, mutta sitä ei ole vielä tehty. Informaation olemassaolo tiedetään, mutta sitä ei ole ilmaistu dokumentoimalla. Implisiittinen tieto voidaan dokumentoida ja siirtää dokumenttien avulla, kunhan se tunnistetaan. Piilevä tieto on sellaista informaatiota, jota ei voida helposti ilmaista. Se on yleensä omaksuttu kokemuksen kautta, eikä sitä voida siksi helposti viestittää muille. Tällaisen tiedon siirtäminen on vaikeaa. Kuvassa 2 on esitetty tiedon jaottelun periaate kahden yksinkertaisen kysymyksen perusteella. (Ekholm & Kauranen, 2003)



Kuva 2, Tiedon jaottelu. (Ekholm & Kauranen, 2003)

Tiedon siirtämisen onnistuminen riippuu paljolti siitä, missä muodossa tieto on. Lisäksi tiedonsiirtoprosessissa on aina kaksi osapuolta: lähettäjä ja vastaanottaja. Erilaisia tiedonsiirtoprosesseja voidaan tunnistaa kolmenlaisia:

- Lähettäjän määritelty tieto siirretään vastaanottajan määritellyksi tiedoksi.
- Lähettäjän piilevä tieto siirtyy vastaanottajan piileväksi tiedoksi.
- Lähettäjän piilevä tieto muutetaan määriteltyyn muotoon ja siirretään vastaanottajan määritellyksi tiedoksi.

Määritellyn tiedon siirrossa tärkeintä on saattaa tieto helposti löydettävään ja käytettävään muotoon, jotta määritelty tieto olisi uuden työntekijän saavutettavissa. Hyvä esimerkki helposti käytettävästä määritellyn tiedon muodosta on esimerkiksi tietylle työpisteelle ominaiset työohjeet, jotka voidaan sijoittaa suoraan työohjetta koskevalle työpisteelle. Piilevää tietoa ei voida sellaisenaan siirtää. Sopivissa olosuhteissa piilevää tietoa voidaan kuitenkin siirtää vastaanottajalle piileväksi tiedoksi. Yleisin tällainen tapaus on mestari-kisälliasetus, missä tiedon vastaanottaja työskentelee tiedon lähettäjän apuna ja tämän ohjauksessa. Ongelmaksi tuotannon siirtämisessä ulkomaille saattaa muodostua käytettävä kieli. Parhaiten piilevä tieto siirtyy lähettäjältä vastaanottajalle, jos molemmat puhuvat samaa kieltä sujuvasti. Toinen piilevän tiedon siirtymistä helpottava tekijä on lähettäjän ja vastaanottajan saaman koulutuksen yhteneväisyys. (Ekholm & Kauranen, 2003) (Cheng;Madsen;& Liangsiri, 2010)

Tuotannon siirtyessä uusien tekijöiden vastuulle, ei heillä ole vastaavaa kokemuspohjaa kyseisestä tuotannosta kuin kokeneilla työntekijöillä. Voidaan myös olettaa, että kokeneilla työntekijöillä on hallussaan hiljaista tietoa, jonka avulla tuotannon tekeminen on helpompaa tai laadukkaampaa, kuin ilman kyseistä tietoa.

Muita tunnistettuja riskejä tuotannon siirtoprojekteissa ovat muun muassa tuotantolaitteiston hajoaminen siirron yhteydessä, laadun heikkeneminen uuteen tuotantolaitokseen siirryttäessä ja logistiikan vaikeutuminen

asiakasyritykselle. Riskejä on löydettävissä jokaisesta siirrosta lukuisia, mutta samalla ne ovat yksilöllisiä jokaiselle siirrolle. Tästä syystä riskien havaitsemiseen keskittyminen on ehdottoman tärkeää jo projektin suunnitteluvaiheessa. (Lengyel;Zgodavova;& Bober, 2012)

4 Elektroniikkavalmistuksen laatu ja tuottavuus

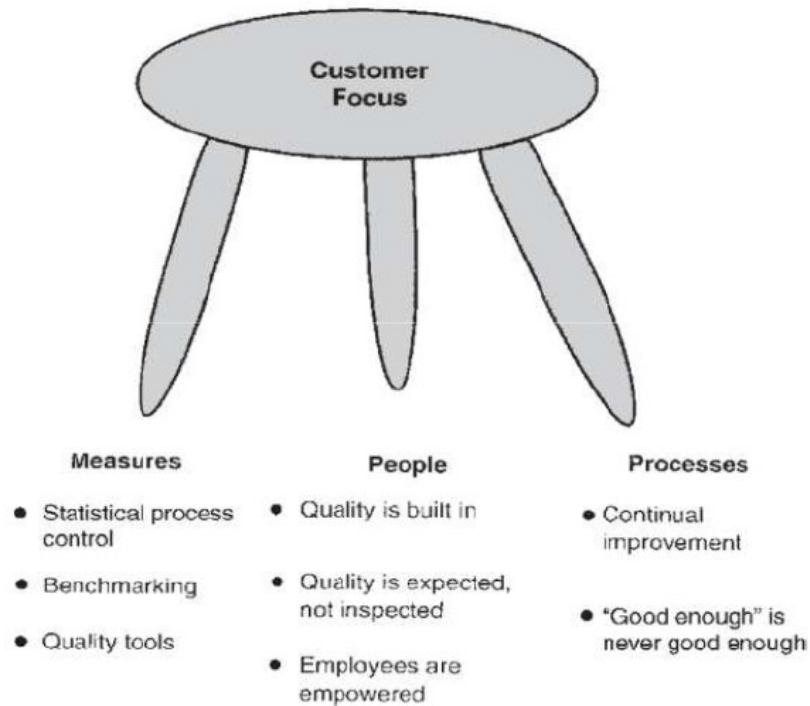
4.1 Laatu ja tuottavuus

Laadun käsite on vaikea määrittää yksinkertaisesti. Laatu saattaa tarkoittaa laitteen toiminnallisuuden varmuutta, luotettavuutta, kestävyyttä, huollettavuutta, esteettisyyttä, ominaisuuksia tai sitä, että laite täyttää vaatimukset ja standardit. Nämä kaikki asiat Douglas C. Montgomery listaa kirjassaan *Introduction to Statistical Quality Control* (2009). Toiselle henkilölle laatu saattaa tarkoittaa listalta jotain asiaa ja toiselle toista. Yksinkertaistettuna Montgomery kuitenkin määrittelee perinteisen laadun käsitteen siten, että laatu tarkoittaa laitteen soveltuvuutta käyttöön. Lähtökohtaisesti tuote on laadukas, jos sillä voi tehdä asioita tai sitä voi käyttää toimissa, johon laite on suunniteltu. Modernimpi määritelmä laadulle on Montgomeryn mukaan kuitenkin tarkempi: ”Laatu on kääntäen verrannollinen vaihtelevuuteen”. Jos siis tärkeiden ominaisuuksien vaihtelevuus vähenee, laatu paranee. Tästä seuraa, että laadun parantamisen määritelmä on Montgomeryn mukaan vaihtelevuuden vähentämistä tuotteissa ja prosesseissa. (Montgomery, 2009)

Goetschin ja Davisin kirjassa *Quality Management for Organizational Excellence: introduction to total quality* (2009), laatu taas määritellään hiukan monimutkaisemmin asiakkaan tarpeet ja odotukset täyttävien tuotteiden, prosessien ja palveluiden muuttuvaksi tilaksi, joka auttaa tuottamaan arvoa asiakkaalle. Paitsi että laatu on asiakkaalle yksi tärkeimmistä ostoperusteista, on se myös Goetschin ja Davisin mukaan alati muuttuva tila. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka laatu olisi hetkellisesti erittäin hyvää, ei tilanne välttämättä pysy sellaisena jatkuvasti. Laatua on tarkkailtava jatkuvasti ja sen on oltava osa johtamisjärjestelmää tuotannossa. Goetsch ja Davis käyttävät kirjassaan termiä ”Total quality approach”, eli vapaasti suomennettuna kokonaislaadullinen lähestymistapa. Tämä lähestymistapa eroaa pelkästä laadun tarkkailusta siinä, että laadun parantaminen on jatkuvaa, eikä keskity vain esiin tulevien ongelmien poistamiseen. Olennaista mallissa on myös se, että laadun tuottaminen on määritelty jo yrityksen strategiassa ja sitä johdetaan yrityksen ylimmästä johdosta alkaen. Tavoitteena on saada kaikki

osallistumaan ennakoivaan laadun parantamiseen. Goetsch ja Davis määrittelevät asian suomennektuna näin: ”kokonaislaatu on lähestymistapa, jolla yritys pyrkii maksimoimaan kannattavuutensa parantamalla jatkuvasti tuotteidensa, palveluidensa, henkilöstönsä, prosessiensa ja ympäristönsä laatua”. Laadun keskiössä on kirjan mukaan asiakaslähtöisyys ja sen tukipilareina ovat laadun mittaaminen, henkilöstö ja prosessit, sekä kaikkien näiden parantaminen. (Goetsch & Davis, 2009)

Kuvassa 3 näkyvät Goetschin ja Davisin määrittelemät kolme tukipilaria asiakasarvon, eli laadun tuottamiselle. Mittaaminen on jaettu vielä kolmeen alakohtaan. Ensimmäinen näistä on tilastollinen prosessin ohjaus, mikä tarkoittaa tuotantoprosessin muokkaamista mitatun tilastollisen datan avulla. Toinen on benchmarking, joka tarkoittaa hyvien käytäntöjen etsimistä oman yrityksen ulkopuolelta ja niiden käyttöönottoa omaan tuotantoon. Kolmantena asiana on laatutyökalut, eli laatua mitataan olemassa olevilla ja hyviksi havaituilla mittareilla. Henkilöstö-kategoria on myös jaettu kolmeen pääkohtaan, sisäänrakennettuun laatuun, laadun edellyttämiseen ja työntekijöiden vastuullistamiseen. Nämä tarkoittavat, että laatu on olennainen osa jokapäiväistä tekemistä ja ajatusmallina on, että kaikelta tehdyltä työltä edellytetään laadukasta lopputulosta, eikä laatua synny vain mittaamalla. Työntekijät saavat, ja heitä edellytetään, puuttuvan tekemisen kehittämiseen siten, että laatu paranee. Viimeinen tukipilari, eli prosessit on jaettu kahteen kohtaan, jatkuvaan parantamiseen ja ajatukseen, että ”riittävän hyvä” ei koskaan ole riittävän hyvä. Molemmat näistä tarkoittavat käytännössä samaa asiaa. Kummassakin on selvä pyrkimys prosessien parantamiseen siten, että laatu paranee. (Goetsch & Davis, 2009)



Kuva 3, Kokonaislaadun kolme tukipilaria. (Goetsch & Davis, 2009)

Amitava Mitra kirjoittaa kirjassaan *Fundamentals of Quality Control and Improvement* (2016), että laatuvirheitä aiheutuu kahdenlaisista syistä, ensimmäinen on erikoiset syyt, jotka tuotannon työntekijä voi havaita ja yleensä eliminoida itse, sekä toisena tavalliset syyt, joita tuotannon työntekijä ei itse voi poistaa. Mitran mukaan laatuvirheistä jopa 90 % aiheutuu tavallisista syistä, esimerkiksi koneistuksen epätarkkuuksista. Hän myös kirjoittaa, että tavallisista syistä vastuussa on aina loppujen lopuksi tehtaan johto. Vain heillä on Mitran mukaan mahdollisuus poistaa tavallisia syitä laatuvirheiden karsimiseksi, esimerkiksi hankkimalla parempi koneistuskeskus. Mitran tutkimuksesta huomataan myös, kuinka tärkeää nimenomaan laadun johtaminen on. (Mitra, 2016)

Fundamentals of Quality Control and Improvement -kirjassa (2016) käsitellään myös kokonaislaadun käsitettä, aivan samoin kuin kirjassa *Quality Management for Organizational Excellence: introduction to total quality* (2009). Amitava Mitra keskittyy kuitenkin enemmän kokonaislaadun pohjana oleviin standardeihin, eli lähinnä ISO-standardeihin. Mitran mukaan ISO

9000 -standardiperheestä on tullut laadun johtamisen kulmakivi ja tavoitetaso. Jopa USA:n yritykset ovat ottaneet ISO 9000 -standardit käyttöönsä ja todenneet niiden helpottavan kaupankäyntiä Euroopan Unionin kanssa. Toinen standardiperhe, johon Mitra tekstissään viittaa on ISO 14000. Vaikka ISO 14000 -standardit eivät suoraan ole laadun johtamisen, vaan ympäristöjohtamisen standardeja, pidetään yrityksiä jotka toimivat ISO 14000 -standardien mukaan laadukkaina kumppaneina. (Mitra, 2016)

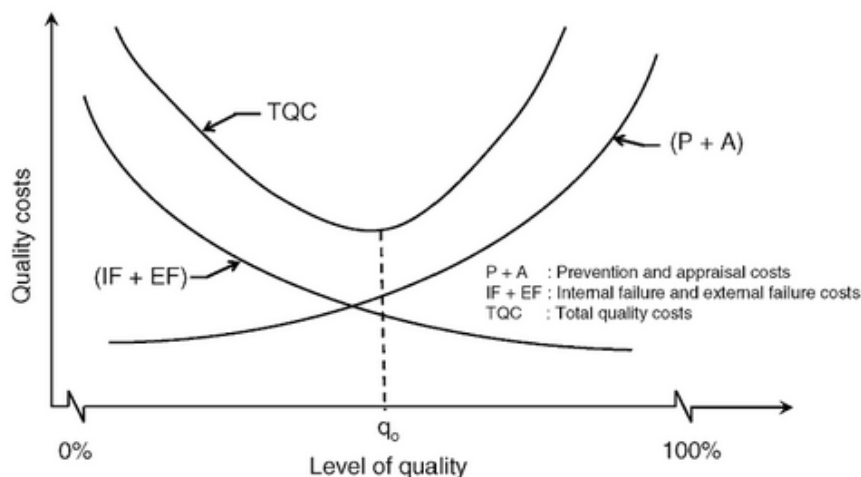
Mitran mukaan yrityksissä vallitsee harhaluulo, jonka mukaan laatu heikentää tuottavuutta, mutta todellisuudessa näiden suhde on positiivinen; laadukas tekeminen itseasiassa parantaa tuottavuutta. Kun tuote tehdään kerralla kunnolla, ilman laatuvirheitä, jää aikaa virheiden korjaamisen tai uudelleen tekemisen sijaan tehdä tuottavaa työtä. Tätä kautta yrityksen kilpailukyky kasvaa pitkässä juoksussa. Kuvassa 4 Amitava Mitra esittää näkemyksensä laadun vaikutuksesta kilpailukykyyn vuokaavion avulla. Laadun parantamisesta on kolme pääasiallista hyötyä, tuotekustannusten pieneneminen, tuottavuuden parantuminen ja parantunut asiakastyytyväisyys. Nämä puolestaan johtavat parempaan kannattavuuteen tuotetta myytäessä, suurentuneeseen kapasiteettiin tuotannossa ja isompaan markkinaosuuteen. Vaikutukset yhdessä summautuvat parantuneeksi kilpailukyvyksi. (Mitra, 2016)



Kuva 4, Laadun vaikutus kilpailukykyyn. (Mitra, 2016)

Kilpailukykyyn vaikuttavat tietenkin myös kustannukset, joita laadun parantamisesta väkisinkin tulee. Mitra muistuttaa kuitenkin, että myös laatuvirheet tuottavat kustannuksia. Laadun kustannukset hän on jakanut kirjassaan kahteen osaan, evaluointikustannuksiin ja ennakoiviin kustannuksiin, sekä sisäisiin ja ulkoisiin tuotteen hajoamisesta aiheutuviin kustannuksiin. Evaluointikustannukset ja ennakoivat kustannukset syntyvät tarkistuksista, testauksista ja mittalaitteiden kunnossapidosta. Sisäisillä kustannuksilla tarkoitetaan omalle tuotannolle vioittuneiden tuotteiden takia aiheutuvia kustannuksia ja ulkoisilla kustannuksilla takuukustannuksia. Varsinkin alussa, kun tuotantoa saatetaan laadukkaiden tuotteiden vaatimaan kuntoon ja tuotantoprosessia hiotaan, voivat alkuinvestoinnit kasvaa suuriksi. Kun prosessista saadaan toimiva, voi se maksaa kustannuksia takaisin säästämällä tuotteen valmistusaikaa ja sitä kautta valmistuskustannuksia. Samoin laadun parantuessa on selvää, että laitteiden hajoamisista johtuvat kustannukset putoavat alkuperäisestä. Perinteisessä, ei jatkuvaan parantamiseen perustuvassa mallissa tuotteelle voidaan laskea

kustannuksiltaan optimaalinen laatu. Tässä ajattelumaailmassa tuotteen laadun parantaminen optimaalisen pisteen jälkeen maksaa enemmän, kuin saadut hyödyt ovat (Kuva 5). Mitra kuitenkin sanoo, että jatkuvan parantamisen mallilla laadun tuottamisen kustannukset alkavat pienentyä ja lopulta vähenevät lähes olemattomiin, kun riittävä laatutaso on saavutettu. Tämä perustuu siihen, että laadun tuottaminen on kaikkien asia ja pieniä parannuksia tehdään jatkuvasti. Tämä taas johtaa huomamatta aina vain parempaan tuotteen laatuun, ilman varsinaisia investointeja sen jälkeen, kun riittävä laatutaso on saavutettu. Näin ollen tavoiteltava laatutaso vaihtuu perinteisen mallin kustannusoptimoidusta tasosta 100 % laatuun. (Mitra, 2016)



Kuva 5, Laatukustannukset laadun funktiona perinteisessä ajattelumallissa. (Mitra, 2016)

4.2 Elektroniikan laatuun vaikuttavat tekijät

Kaikkien tuotteiden laadusta suurin osa määritellään jo suunnittelupöydällä. Mikäli laite on huonosti suunniteltu, ei siitä saada laadukasta minkäänlaisilla toimenpiteillä tuotannossa. Suunnittelijat siis vaikuttavat tuotteen laatuun kaikkein eniten. David M. Andersonin mukaan ongelmana ei niinkään ole huonolaatuiset osat tai komponentit, joista tuotteita tehdään, vaan valmistettavuuden heikkous. Syitä, miksi tuotteet eivät ole yleensä helposti

valmistettavia, on useita. Insinöörien ja suunnittelijoiden koulutuksen perustana ei usein ole valmistettavuuden suunnittelu, vaan ennemminkin toiminnallisuuden suunnittelu. Lisäksi suunnittelijat on tyypillisesti koulutettu suunnittelemaan osia, ei niinkään tuotteita tai järjestelmiä. Samoin tietokoneavusteiset suunnitteluohjelmat painottavat osien, eivätkä kokonaisuuksien suunnittelua. Kun yrityksen tai suunnitteluosaston johto painottaa usein kustannustehokkuutta ja aikataulussa pysymistä, eivät suunnittelijat ehdi miettimään valmistettavuutta. Anderson muistuttaa, että ainoa oikea aikataulumittari uudelle tuotteelle on aika, jossa tuote saadaan tuotua markkinoille siten, että tuotteen tekeminen on saatu hallitusti kunnolla käyntiin ja kaikki tuotetta ostavat asiakkaat ovat tyytyväisiä. Huono valmistettavuus johtaa helposti pidempään tuotannon ylösajoon ja huonoon laatuun. (Anderson, 2014)

Valmistettavuus ei kuitenkaan ole usein ongelmana elektroniikan valmistuksessa. Piirilevyt ovat suhteellisen standardoituja ja ladonnan tapahtuessa automaattisesti pintaladontalinjalla, ei tuotteen valmistettavuuden suunnittelu vaadi juurikaan paneutumista. Vain pintaladonnan onnistuminen on asia, josta täytyy pitää huoli, eli että ladontakone pystyy haluttuihin paikkoihin komponentit latomaan. Valmistettavuutta enemmän elektroniikan laatuun vaikuttavat pintaladontalinjan parametrit, joiden mukaan ladonta tapahtuu. Parametrien ollessa väärin asetettuja, aiheutuu ladontalinjalla virheitä, jotka sitten näkyvät suoraan laadussa. Ladontalinjan virheistä 75 % johtuu juotosvirheistä, eli esimerkiksi juotteen puuttumisesta, tai liiallisesta juotteesta, 8–10 % johtuu komponenttinvirheistä, eli esimerkiksi väärin päin tai vinossa olevista komponenteista ja loput ovat muita virheitä. (Li & Wang, 2013)

Juotosvirheet aiheuttavat suurimman osan kaikista laatuvirheistä pintaladontalinjoilla (75 %). Tällaisia virheitä ovat juotteen puuttumisesta johtuva avoin piiri tai liiallisesta juotteesta johtuva oikosulku esimerkiksi komponentin jalkojen välillä (Kuva 6). Juotosvirheiksi lasketaan myös huonot juotokset, joissa ei oikosulkua tai avointa piiriä esiinny, mutta juotteen määrä on silti liian vähäinen tai sitä on liikaa (Kuva 7). Oikosulut ja avoimet

piirit saadaan helposti kiinni elektroniikkakortin toiminnallisuustesteissä, mutta huonot juotokset eivät välttämättä aiheuta hylkäystä toiminnallisuustestissä, vaan ne voivat johtaa ennenaikaiseen laitteen hajoamiseen lopputuotetta käytettäessä. Tällaiset virheet voidaan havaita Automated Optical Inspection (tai Automated Visual Inspection) -laitteistolla (AOI tai AVI). Automaattinen optinen tarkastus on konenäköön perustuva ohjelmisto, joka vertaa jokaisesta ladotusta elektroniikkakortista ottamaansa kuvaa opetettuun aineistoon, eli käytännössä laadultaan hyvään elektroniikkakorttiin. Mikäli AOI huomaa virheen ladotussa kortissa, antaa se hälytyksen ja kertoo syyn hylkäykselle. Yleensä juotosvirheet voidaan vielä tässä vaiheessa korjata esimerkiksi käsin juottamalla.



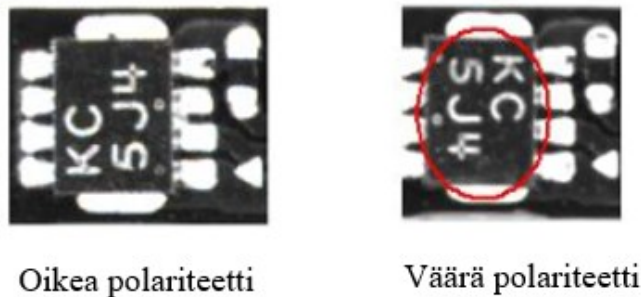
Kuva 6, Esimerkki liiallisen juotteen aiheuttamasta oikosulusta. (Li & Wang, 2013)



Kuva 7, Juotteen väärästä määrästä aiheutuneita huonoja juotoksia. (Li & Wang, 2013)

Automaattinen optinen tarkistus on myös hyvä tapa löytää komponenttivirheet, jotka muodostavat seuraavaksi suurimman kokonaisuuden pinaladontalinjan virheistä (10 %). Komponenttivirheet tarkoittavat tässä tapauksessa komponentin väärää paikkaa, puuttumista,

vinoon latomista tai väärinpäin latomista, eli polariteetin kääntymistä. Polariteetin kääntyminen tarkoittaa käytännössä komponentin ladontaa väärin päin, jolloin komponentin jalat kyllä osuvat piirilevyn kontakteille, mutta ovat kukin väärässä kontaktissa. Kuvassa 8 on esimerkki kääntyneestä polarisaatiosta, jossa komponentti on ladottu piirilevylle väärinpäin.



Kuva 8, Esimerkki komponentista, joka on ladottu väärinpäin piirilevylle. (Li & Wang, 2013)

Osa komponenttinvirheellisistä korteista hylättäisiin myös toiminnallisuustesteissä, mutta esimerkiksi juuri ja juuri oikeille juotospinnoille osuva komponentti ei välttämättä aiheuta hylkäystä, mikäli galvaaninen kosketus komponentin jalkojen ja juotospintojen välillä on olemassa. Samoin kuin huono juotos, myös siirtynyt tai kääntynyt komponentti, joka on toiminut oikein toiminnallisuustesteissä, voi aiheuttaa laitteen ennenaikaisen hajoamisen käytössä. Automaattinen visuaalinen tarkastus on hyvä tapa tarkastaa ladotut piirikortit prosessissa heti ladonnan jälkeen. Tällöin ei hukata toiminnallisuustestauksen aikaa jo valmiiksi huonoiksi tiedetyille korteille, vaan virheet saadaan kiinni mahdollisimman aikaisessa prosessin vaiheessa.

4.3 Laadun mittarit

Erilaisia tapoja mitata valmistettavan tuotteen laatua on olemassa todella paljon. Tässä kappaleessa tutustutaan muutaman yleisimpään prosessin laatua mittaavaan menetelmään ja käydään läpi niiden pääperiaatteet.

Helpoin ja vanhin tapa varmistaa tuotteen riittävä laatu on testata se valmiina. Testi kertoo, toimiiko laite testin määrittelemällä tavalla vai ei ja tuote voidaan hyväksyä tai hylätä tämän testin perusteella. Mikäli kaikki tuotteet testataan, kutsutaan tätä 100 % hyväksyntätestaukseksi. Tällainen testaus erottelee varmasti toimivat tuotteet toimimattomista, kunhan testaus on suunniteltu riittävän kattavaksi. Yleensä testeissä testataan useita yksittäisiä ominaisuuksia, tai useamman ominaisuuden kokonaisuuksia, joilla on, tai ainakin pitäisi olla selkeät hyväksymiskriteerit. Mitattaville ominaisuuksille on määritelty tavoitearvo, joka on yleensä suunnittelusta peräisin oleva ideaalinen arvo mitattavalle suurelle. Esimerkiksi, jos tavoitteena on valmistaa metrin mittaisia kappaleita, on mitattavana suurena pituus ja sen tavoitearvona metri. Yksikään prosessi ei kuitenkaan ole ideaalinen ja tuota aina ideaalisia kappaleita, varsinkaan kun ominaisuuksia on useampia kuin yksi. Mitä monimutkaisempi laite tai kappale on kyseessä ja mitä enemmän sillä on osia ja komponentteja jotka vaikuttavat toistensa toimintaan, sitä enemmän voidaan olettaa epäideaalisuuksia olevan laitteen tuottamisessa. Tästä syystä testattaville ominaisuuksille pitää määrittää raja-arvot, joiden sisällä pysyttäessä tuote on hyväksyttävä. Tavoitearvon lisäksi tarvitaan siis ylempi määritelty raja-arvo, Upper Specification Limit (USL) ja alempi määritelty raja-arvo, Lower Specification Limit (LSL). Nämä raja-arvot kertovat millä alueella mitatun tuloksen pitää olla, jotta ominaisuus voidaan hyväksyä. (Montgomery, 2009)

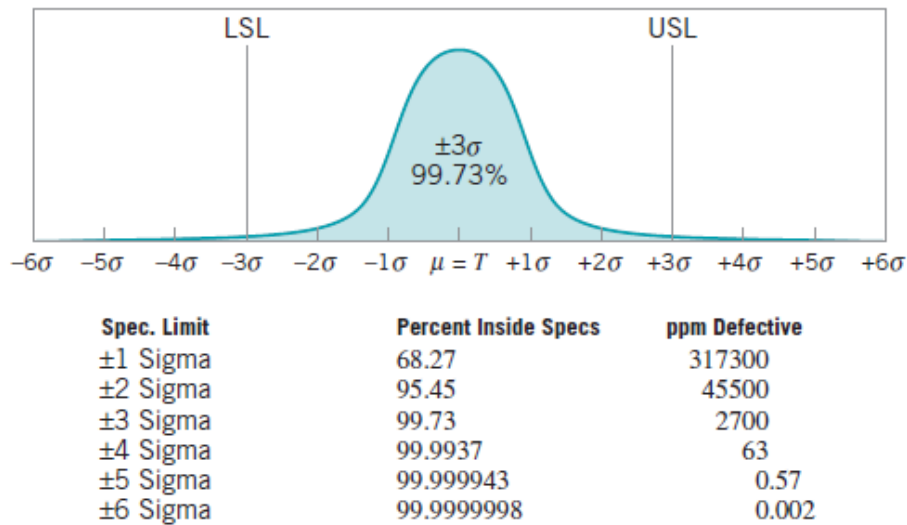
Hyväksyntätesti voi olla myös otospohjainen. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkia kappaleita ei testata, vaan tuotteista valitaan sattumanvaraisesti tietty otos yhdestä valmistuserästä, joka testataan. Testauksen jälkeen päätetään, hyväksytäänkö koko tuotantoerä, hylätäänkö se, vai turvaudutaanko lisätesteihin. Otospohjainen hyväksyntätestaus perustuu todennäköisyyteen löytää hylättäviä kappaleita tai laiteita valmistuserästä, mikäli siinä hylättäviä kappaleita on. Mitä enemmän kappaleita testataan ja todetaan hyväksi, sitä varmempaa on, ettei valmistuserässä huonoja kappaleita ole. Otospohjaisia hyväksyntätestejä on useita erilaisia. Yksinkertaisessa otospohjaisessa hyväksyntätestauksessa tutkitaan valmistuserästä ennalta määrätty otos. Erän hyväksynnälle asetetaan kriteerit esimerkiksi siten, että jos otoksesta löytyy

kolme huonoa tuotetta, koko erä hylätään. Jos taas otoksesta löytyy alle kolme huonoa tuotetta, koko erä hyväksytään. Kaksinkertainen otospohjainen hyväksyntätestaus on muuten samanlainen kuin yksinkertainen, mutta hyväksyntäkriteereissä on suoran hylkäyksen ja suoran hyväksynnän lisäksi kolmas kategoria, joka vaatii lisätestausta, eli uuden otoksen ottamista erästä. Esimerkiksi jos otoksesta löytyy huonoja tuotteita kaksi tai vähemmän, voidaan koko erä hyväksyä, jos huonoja kappaleita löytyy viisi tai enemmän, koko erä hylätään. Mikäli huonoja kappaleita löytyy määrä, joka osuu näiden hylkäys- ja hyväksyntäkriteereiden väliin, esimerkissä siis kolme tai neljä, otetaan erästä uusi otos ja jatketaan testaamista. Erän hyväksyminen tai hylkääminen päätetään molempien otosten yhteisistä tuloksista. Vaiheittainen otospohjainen hyväksyntätestaus eroaa kahdesta aiemmasta siinä, ettei otoksen kokoa ole ennalta määrätty, vaan otoksen koko riippuu testattavien laitteiden tuloksista. Testaus voidaan lopettaa, jos hyväksytyjen tuotteiden osuus on määritellyn tason mukainen. (Wetherill, 1977)

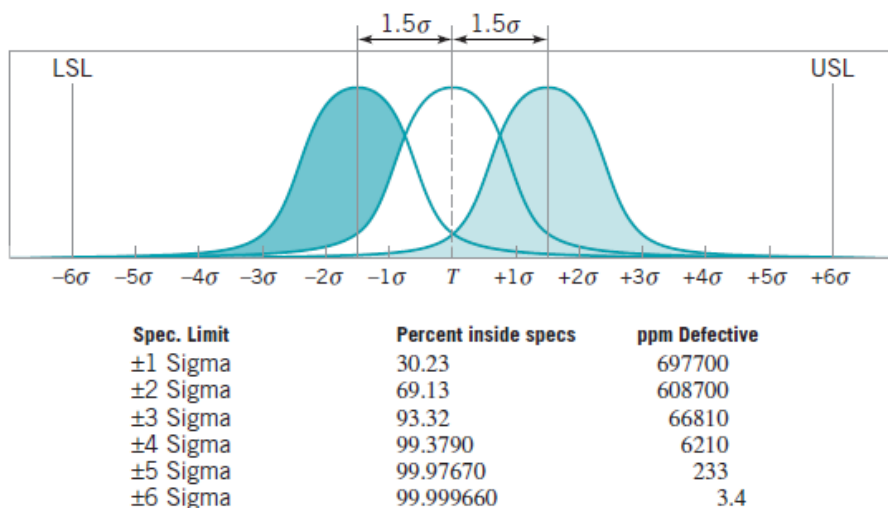
Suurin ongelma hyväksyntätestauksen käyttämisessä on Douglas C. Montgomeryn mukaan se, ettei pelkästään testaamalla saada parannettua laatua. Hyväksyntätesti kyllä kertoo, onko laite hyväksyttävissä vai ei, mutta jos käytetään vain tätä metodia, voi huonojen laitteiden osuus tuotannosta olla merkittävän suuri. Mikäli laatua halutaan mitata tarkemmin ja parantaa, täytyy käyttöön ottaa tilastollisia laaduntarkkailumenetelmiä. Tilastollisilla menetelmillä saadaan selville tuotantoprosessin tuottama vaihtelu ja todennäköisyydet sille, että valmistettavasta tuotteesta tulee hyväksymiskriteerien mukainen. Näiden tietojen kautta päästään parantamaan tuotantoprosessia ja päästään entistä korkeampaan hyväksymisprosenttiin tuotteiden hyväksyntätestauksessa. Tilastollisia menetelmiä käyttämällä nähdään, onko testattavan suureen keskiarvo lähellä tavoitearvoa, vai kenties lähempänä jompaakumpaa hyväksynnän raja-arvoa. Mikäli ollaan lähellä raja-arvoja, on todennäköisyys tuotteen hylkäykselle kyseisen testin takia suurempi kuin jos oltaisiin lähellä tavoitearvoa. Lisäksi tilastollisilla menetelmillä voidaan nähdä muutokset prosessissa, jotka eivät vielä välttämättä aiheuta hylkäystä testauksessa, mutta alkavat vaikuttaa testin tulosten tilastollisen jakauman paikkaan tai muotoon. Näin voidaan

ennakoidusti tehdä korjauksia prosessiin, jotta tuotteen laatu pysyy riittävän hyvänä, eikä hylkäyksiä testissä välttämättä ehdi tulla. (Montgomery, 2009)

Yksi suosituimmista tilastollisista laaduntarkkailumenetelmistä on Motorolan 1980-luvulla kehittämä Six Sigma. Six Sigma -menetelmän tarkoituksena on vähentää tuotteen laadun kannalta tärkeimpien ominaisuuksien vaihtelua tasolle, jolla huonojen kappaleiden syntyminen prosessissa on erittäin epätodennäköistä. Motorolan konseptin ajatuksena oli päästä vaihtelussa sille tasolle, että ala- ja yläraja ominaisuuden hyväksymiselle olisivat ainakin kuuden sigman, eli keskihajonnan päässä tavoitearvosta. Toisin sanoen vaihtelu mitattavalla suureella olisi niin pientä, että vaikka poikkeama tavoitearvosta olisi epänormaalin suuri, olisi mitattu arvo silti vielä hyväksyntärajojen sisäpuolella. Normaalijakautuneella mittauksella todennäköisyys sille, että ominaisuuden mittatulos on korkeintaan kuuden keskihajonnan etäisyydellä tavoitearvosta, on 0,99999998 (Kuva 9). Sama asia kääntäen tarkoittaa, että virheitä esiintyy todennäköisyyden mukaan 0,02 kappaletta miljoonasta mittauksesta. Kun Motorola kehitti Six Sigma -menetelmän, tehtiin oletus, että vaikka prosessi saadaan kehitettyä halutulle kuuden keskihajonnan laatutasolle, voi keskiarvo silti vielä muuttua erilaisista syistä 1,5 keskihajonnan verran. Näin laskettuna Six Sigma -prosessi tuottaa 3,4 virheellistä mittaustulosta miljoonasta mittauksesta (Kuva 10).



Kuva 9, Normaalijakautuneen muuttujan todennäköisyydet pysyä eri keskihajontojen sisäpuolella. (Montgomery, 2009)



Kuva 10, Normaalijakautuneen muuttujan todennäköisyydet eri keskihajonnoille, kun odotusarvo on siirtynyt $1,5\sigma$. (Montgomery, 2009)

Todennäköisyys hyväksyttävän tuotteen tuottamiselle Six Sigma -menetelmän mukaisella prosessilla kuulostaa todella suurelta. Jos kuitenkin ajatellaan tilannetta, jossa jokainen mittaus tai komponentti olisi Six Sigma -menetelmän vaatimalla tasolla, mutta mittauksia tai mahdollisia vikapaikkoja olisi useita, ei todennäköisyys enää olekaan samalla tasolla. Todennäköisyyslaskennan mukaan todennäköisyys koko tuotteen hyväksymiselle, olettaen että mittaukset ja vikapaikat ovat toisistaan

riippumattomia, saadaan kertomalla kaikkien tarkastelujen hyväksymistodennäköisyydet keskenään. Jos siis kaikilla vikaantumismahdollisilla komponenteilla, osilla ja kokonaisuuksilla olisi hyväksymistodennäköisyytenään esimerkiksi 99 %, joka kuulostaa sinänsä hyvältä todennäköisyydeltä, niin koko laitteen hyväksymistodennäköisyys voidaan laskea kaavasta 2:

$$Z = 0,99^x, \quad (2)$$

Missä Z on todennäköisyys sille, että laite hyväksytään ja x on testattavien suureiden lukumäärä. Tästä seuraa, että jos esimerkiksi testattavia suureita tuotteella on 10 kappaletta, on todennäköisyys sille, että laite hyväksytään testissä:

$$Z = 0,99^{10} = 0,904 = 90,4 \% . \quad (3)$$

Jos testattavia suureita onkin 100, tulee tulokseksi enää 36,6 %. Tästä huomataan, että mitä monimutkaisempi testattava laite on, sitä tärkeämpää on päästä yksittäisten vikaantumismahdollisuuksien osalta mahdollisimman hyvään laatuun. Mikäli kaikki yksittäiset vikaantumismahdollisuudet ovat Six Sigman edellyttämällä tasolla, eli vikaantumistodennäköisyys on 3,4 vikaa miljoonasta (0,00034 %), tulee laite hyväksytyksi yli 99 prosentin todennäköisyydellä, vaikka yksittäisiä vikaantumismahdollisuuksia olisi esimerkin 100 kappaletta. (Pyzdek, 2003)

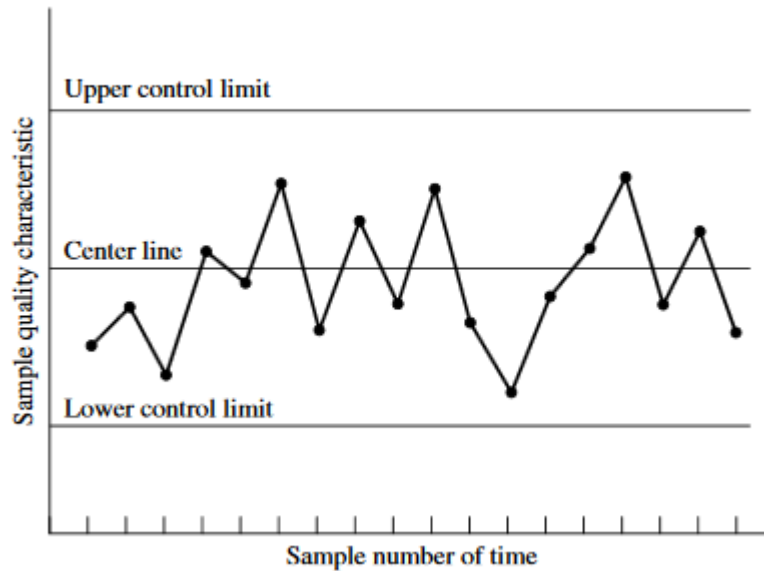
Six Sigma -menetelmä ei yksistään pysty tuottamaan tietoa, vaan on ennemminkin määritelty tavoite, jota kohti pyrkiä. Samalla se antaa puitteet tiedon analysoinnille. Six Sigma -kehitystyö perustuu usein viisiosaiseen DMAIC-ongelmanratkaisumenetelmään. DMAIC-menetelmän nimi tulee sanoista Define, Measure, Analyze, Improve ja Control, eli DMAIC-menetelmän mukaan pitää ensin määritellä mitä mitataan ja mitkä ovat raja-arvot. Tämän jälkeen suoritetaan mittaukset, esimerkiksi testit tai suunnitellut kokeet ja analysoidaan tuloksia. Kun parannettavaa löydetään, tehdään parannukset, minkä jälkeen kontrolloidaan jälleen mittaamalla mitä parannukset saivat aikaan. DMAIC-menetelmän puitteissa käytetään kontrollikuvaajia, suunniteltuja kokeita, prosessin analysointityökaluja,

mittaustyökaluja ja muita tilastollisen analyysin perustyökaluja tiedon keräämiseen ja prosessin laadunvalvontaan. (Montgomery, 2009)

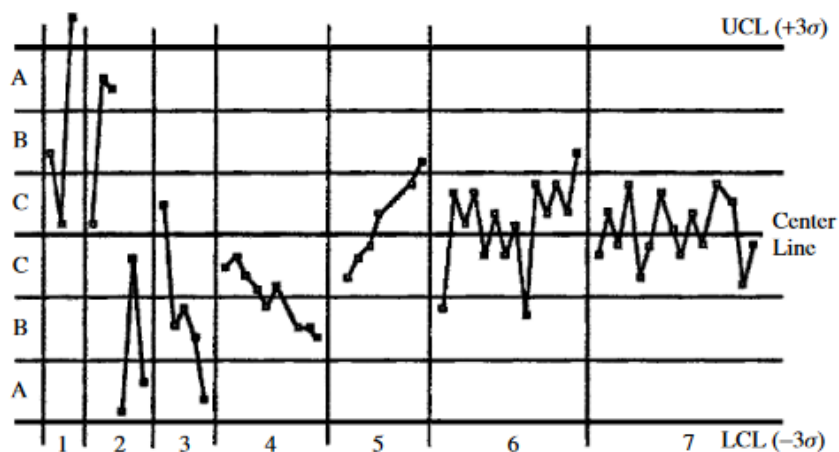
Kontrollikuvaajia käytetään prosessin muutoksien havaitsemiseen, jotta prosessi pystytään pitämään hallinnassa. Kontrollikuvaajat ovat usein käytössä myös DMAIC-menetelmän kanssa tuottamassa tietoa prosessista. Kuvassa 11 on esitetty tyypillinen kontrollikuvaaja, jossa on kuvattuna kuvaajan tyypilliset osat, ylempi kontrolliraja, Upper control limit (UCL), alempi kontrolliraja, Lower control limit (LCL) ja keskiviiva, Center line. Kuvaajan keskiviiva kuvaa prosessin tavoitearvoa. Kontrollirajat valitaan niin, että kun näytteet ovat niiden välissä, on prosessi hallinnassa. Mikäli näytteitä esiintyy kontrollirajojen ulkopuolella, tarkoittaa se sitä, ettei prosessi ole hallinnassa. Kontrollikuvaajan näytteiden oletetaan osuvan todennäköisyyden mukaan eri kohtiin kontrollirajojen väliin. Jos näytteet alkavat käyttäytyä järjestelmällisesti siten, että sattumanvaraisuus näytteistä häviää, tulkitaan myös tämä siten, ettei prosessi ole hallinnassa. Jotta näytteiden järjestelmällinen käyttäytyminen huomattaisiin, on kehitetty säännöstö tämän havaitsemiseksi. Prosessi ei ole hallinnassa jos:

1. Mikä tahansa näyte on yli kolmen keskihajonnan päässä tavoitearvosta.
2. Kaksi kolmesta peräkkäisestä näytteestä on yli kahden keskihajonnan päässä tavoitearvosta.
3. Neljä viidestä peräkkäisestä näytteestä on yli yhden keskihajonnan päässä tavoitearvosta.
4. Yhdeksän perättäistä näytettä ovat tavoitearvon samalla puolella.
5. Kuusi perättäistä näytettä nousevat tai laskevat.
6. 14 perättäistä näytettä vaihtelevat aina ylös ja alaspäin.
7. 15 perättäistä näytettä vaihtelevat tavoitearvon eri puolilla.

Kyseinen säännöstö on visualisoitu kuvassa 12. (May & Spanos, 2006)



Kuva 11, Tyypillinen kontrollikuvaaja. (May & Spanos, 2006)



Kuva 12, Havaintokuva säännöstöstä, jonka mukaan prosessi ei enää ole hallinnassa. (May & Spanos, 2006)

4.4 Laadun seuranta

Kappaleessa 4.1 esitetyn laadun määritelmän mukaan, laatu ei ole pysyvä tila, vaan se muuttuu jatkuvasti (Goetsch & Davis, 2009). Vaikka laatu olisi kerran saatu esimerkiksi Six Sigma -menetelmän mukaiselle tasolle, ei se tarkoita sitä, että yksittäisten osien, valmistusprosessin tai lopputuotteen laatu pysyisi aina saavutetulla tasolla. Muutoksia prosesseissa ja olosuhteissa tapahtuu, joten tästä syystä laatua on myös seurattava jatkuvasti.

Siihen miten laatua seurataan, vaikuttaa todella paljon se, miten laatua mitataan. Mikäli käytössä on pelkästään hyväksyntätestaus, on laadun seuranta käytännössä hyväksyntätestauksen saannonseurantaa, eli kuinka monta prosenttia tuotteista hylätään tai hyväksytään. Jos taas yrityksessä on käytössä jokin laadun jatkuvan parantamisen työkalu, kuten Six Sigma, seurataan laatua aivan toisella tavalla. Tällöin pyritään aktiivisesti löytämään prosessin vaihtelua aiheuttavia syitä ja korjaamaan niitä, vaikka varsinaista ongelmaa lopputuotteen laadussa ei vielä olisikaan. Six Sigma -mallin mukaan prosessia ja sen tuottamaa laatua seurataan jatkuvasti ja kaikkien työntekijöiden toimesta. Tällöin jo laadun heikkeneminen tulee huomatuksi, vaikka lopputuotteet olisivat vielä täysin myyntikelpoisia ja tuotantoprosessia voidaan säätää jo ennen virheellisten kappaleiden syntymistä. (Arnheiter & Malayeff, 2005)

Toyotan kehittämän Lean-mallin mukaan kaikki laaduntarkastus on hukkaa ja siitä pitäisi päästä eroon. Vaikka tavoite kuulostaa ensikuulemalla ristiriitaiselta esimerkiksi Six Sigman kanssa, on tavoite loppujen lopuksi hyvin samankaltainen. Lean-menetelmän tavoitteena on saada laatu niin hyväksi, ettei laaduntarkastusta tarvitse tehdä. Käytännössä tähän ei kuitenkaan päästä, joten Lean-mallin mukaan laadun tarkastamisen pitäisi olla 100 % automaattista ja virhe havaittaessa prosessin pitäisi pysähtyä heti kokonaan. Tämän jälkeen virhe ja sen aiheuttanut viallinen tuotantoprosessi korjataan ja tuotanto pääsee jatkumaan vasta, kun prosessi on taas kunnossa. (Arnheiter & Malayeff, 2005)

Laadun seuraamisen foorumeita on olemassa lähes yhtä paljon, kuin tapoja mitata laatua. Yrityksissä voi olla käytössä laadunseurannan palaverit määritellyllä syklillä, tai laadun kehittymistä voidaan seurata esimerkiksi lähes reaaliaikaisesti automaattitestauksen osalta, jos tulokset syötetään esimerkiksi pilvipalveluun tai lähetetään suoraan laatua seuraavalle henkilölle. Nykypäivänä pilvipalvelut mahdollistavat myös alihankkijan laadun seuraamisen asiakasyrityksen toimesta. Tällaisia valmiita pilvipalvelukonsepteja löytyy jo nyt markkinoilta.

5 Siirtoprojekti

5.1 Siirron taustaa

Metson sopimusvalmistaja päätti siirtää oman tuotantonsa Suomesta halvemman työvoiman maahan. Siirron syiksi sopimusvalmistaja kertoi tuotantonsa tehostamisen, sekä kustannussäästöt tehostamisen seurauksena. Sopimusvalmistajalla oli kaksi samantyyppistä tehdasta, joissa molemmissa valmistettiin elektroniikkaa. Sen lisäksi Suomessa sijaitsevassa tehtaassa valmistettiin myös mekaniikkaa. Sopimusvalmistaja katsoi tehostavansa toimintaansa keskittämällä kaiken elektroniikkavalmistuksen yhteen tehtaaseen. Vuositasolla siirron aiheuttama kustannussäästö on sopimusvalmistajan mukaan noin 300 000 euron luokassa, riippuen siitä, minkälaisia tehostustoimia siirron yhteydessä tehtäisiin tai voitaisiin tehdä ja minkälaisia määriä tuotteita uudessa tehtaassa tulevaisuudessa tehtäisiin.

5.2 Projektioorganisaatio

Käytännössä siirron toteutti sopimusvalmistaja itse, mutta tuotannonsiirto vaati myös asiakkaalta, eli tässä tapauksessa Metsolta resursseja. Asiakkaan täytyi varmistaa oman tuotantonsa jatkumisen, yhdessä sopimusvalmistajansa kanssa, varautumalla sopimusvalmistajan tuotantokatkokseen. Samoin asiakkaan täytyi varmistaa sopimusvalmistajan palvelukyvyn jatkumisen entisellä tai ainakin hyväksyttävällä tasolla toimitusten oikeellisuuden, oikea-aikaisuuden ja laadun osalta. Lisäksi kyseinen sopimusvalmistaja on ennemminkin Metson asennoitintehtaan strateginen partneri, kuin pelkkä alihankkija. Tästäkin syystä Metso halusi olla tiiviisti mukana siirtoprojektissa.

Kyseisessä siirtoprojektissa projektipäällikköinä toimivat sopimusvalmistajan nimeämät päätoimiset siirtoprojektin vetäjät, joista toinen työskenteli siirron lähettävässä tehtaassa ja toinen siirron vastaanottavassa tehtaassa. Tämän lisäksi sopimusvalmistajan organisaatiosta kaikki asiakasyrityksen tuotteiden valmistamiseen ja laadun ylläpitoon liittyvät henkilöt auttoivat siirtoprojektissa oman päätoimensa ohella. Asiakasyrityksestä nimettiin yksi päätoiminen henkilö valvomaan

sopimusvalmistajan tuotannonsiirtoa ja luomaan konsepti sopimusvalmistajan tuotannonsiirron onnistumisen seuraamiselle ja mittaamiselle. Tämän lisäksi asiakasyritykseltä siirrossa auttoivat kaikki asennoitintehtaan toimihenkilöt. Tehdaspäällikkö ja kehitysinsinööri osallistuivat uudesta tuotantolaitoksesta tulevien tuotteiden validointiin ja laadun verifiointiin. Ostaja, tuotannonsuunnittelija ja tuotannon esimies olivat tiiviissä yhteydessä sopimusvalmistajaan varmistaakseen asiakasyrityksen tuotannon normaalin jatkumisen siirron aiheuttaman komponenttien tuotantokatkoksen aikana.

Sopimusvalmistajan ilmoittaessa siirtävänsä tuotantonsa pois Suomesta uuteen valmistuspaikkaan, päätti asiakasyritys varmistaa ostamiensa elektroniikkakomponenttien saatavuuden ja laadun säilymisen suunnittelemalla siirron seurannan konseptin. Samalla asiakasyrityksessä käsitettiin, että vastaavia itsestä riippumattomia tai oma-aloitteisia siirtoja saattaa tapahtua myös tulevaisuudessa, joten konseptin toimivuus haluttiin testata ja siitä haluttiin tehdä mahdollisimman yleispätevä kaikkiin vastaaviin siirtoihin.

5.3 Aikataulu

Ilmoitus tuotannon siirtoaikasta tuli sopimusvalmistajalta asiakasyritykselle huhtikuussa. Samalla sopimusvalmistaja ilmoitti pyrkivänsä suorittamaan siirron kaikkien asiakkaidensa elektroniikkatuotteiden osalta loppuun seuraavan vuoden ensimmäisen kvartaalin, eli maaliskuun loppuun mennessä. Tämä tarkoitti sitä, että koko tuotannonsiirron suorittamiseksi oli aikaa hieman alle vuosi.

Metson tuotteiden siirrolle aikaa varattiin alustavassa suunnitelmassa kolme kuukautta. Aika piti sisällään koko siirron toteuttamisen aina suunnitelmien luomisesta, puskurivarastojen valmistamiseen ja itse siirtoon saakka. Aloitusta Metson tuotteiden osalta oli suunniteltu alun perin lokakuun alkuun ja itse valmistuksen siirto tapahtuvaksi vuoden lopulla. Metso toivoi, että siirto aloitettaisiin sen osaltaan aikaisemmin, jotta vuoden lopun juhlapyhät eivät vaikeuttaisi siirtoa aikataulun mahdollisesti venyessä alun perin ajatellusta.

Tämä sopi sopimusvalmistajalle ja yhdessä yritysten välillä sovittiin, että siirto tehtäisiin pidemmän ajan puitteissa, mutta aloitettaisiin jo kesäkuussa suunnitelmien tekemisellä. Itse tuotteiden koesarjojen tekemisen sovittiin alkavan uudessa valmistuspaikassa lokakuun alussa, minkä jälkeen tuotteita päästäisiin testaamaan ja varmistamaan siirron jälkeinen laatu. Kun testit saataisiin hyväksytysti suoritettua, voitaisiin antaa lupa tuotannon siirtämiselle. Tuotannonsiirron kestoksi sopimusvalmistaja oli arvioinut noin kolme viikkoa per tuote. Tuotteita siirrettäisiin suunnitelman mukaan myös osittain yhtä aikaa, tai limittäin toistensa kanssa, mutta jokaisen yksittäisen tuotteen siirrolle varattiin kolmen viikon aikaikkuna. Yhtäaikaistulle siirroille suurin syy oli se, että osa tuotteista käytti keskenään samaa testausasemaa, jolloin yhden tuotteen siirtäminen kerrallaan ei ole järkevää. Mikäli vain yksi tai osa samaa testausasemaa käyttävistä tuotteista siirrettäisiin uuteen tehtaaseen, pitäisi tuotteita kuljettaa edestakaisin tehtaiden välillä testattavana.

Projektia aikataulutettaessa ei siis keskitytty vain tuotteiden siirron aikatauluttamiseen, vaan mukana olivat kaikki osa-alueet, jotka projektia suunniteltaessa oltiin tunnistettu. Näitä osa-alueita olivat muun muassa dokumenttien siirrot, työohjeiden käännökset vastaanottavan tehtaan kielelle, materiaalien ostot sekä puskureita varten, että myös vastaanottavan tehtaan ylösajoa varten, tuotannon työntekijöiden kouluttaminen, koe-erien tekeminen ja tuotannon työvälineiden siirto. Näiden suurempien kokonaisuuksien lisäksi aikataulutus koski myös suurta joukkoa pienempiä tehtäviä ja osakokonaisuuksia, joita siirtoon liittyi. Lopuksi aikataulutettiin myös jokainen siirtoon liittyvä valmistettava nimike erikseen. Siirrettäviä nimikkeitä oli yhteensä 23 kappaletta, joista osa oli toistensa alinimikkeitä. Ostettavia nimikkeitä Metsolla oli sopimusvalmistajalta 16 kappaletta.

5.4 Kohdetehtaan auditointi

Yksi Metson vaatimus alihankkijalle on, että valmistava tehdas on auditoitu ja todettu sekä Metson, että ISO 9001 -standardin vaatimukset täyttäväksi. Lisäksi osa Metson tuotteista on Atex-hyväksytyjä, jolloin myös komponentteja valmistavien tehtaiden pitää täyttää Atex-vaatimukset. Ennen

siirron aloittamista kohdetehtas auditoitiin Metson auditoijien toimesta heinäkuussa, jotta mahdollisille korjaaville toimenpiteille jäisi vielä riittävästi aikaa ennen siirron aiottua aloitusta. Metson auditointiprosessi varmistaa yllä esitettyjen vaatimusten täyttymisen. Auditointi suoritettiin kappaleessa 2.2.2 esitettyjen Metson normaalien auditointiperiaatteiden mukaisesti.

Auditoinnin tuloksena huomattiin, että kohdetehtas oli erinomaisessa kunnossa vastaanottamaan siirron. Auditoinnissa löydettiin yhteensä kolme poikkeamaa, joista Metso vaati sopimusvalmistajaltaan korjausaikataulun ja -suunnitelman. Poikkeamat olivat ohjeistuksesta löydetty punakynämerkinnät, joiden siirtymistä osaksi ylläpidettävää ohjeistusta ei voitu osoittaa, tuotantotiloissa olleet jauhesammuttimet sekä sopimusvalmistajan alihankkijoiden valintaprosessin dokumentaation puuttuminen. Jauhesammuttimet elektroniikkatuotannossa ovat riski, sillä jos niitä tarvitsee käyttää, voi jauhe tunkeutua tuotantolaitteisiin ja rikkoa ne. Tästä syystä Metso vaati sopimusvalmistajaa vaihtamaan sammuttimet hiilidioksidisammuttimiksi (CO₂). Sopimusvalmistajan piti myös dokumentoida alihankkijoidensa valintaprosessi, jotta Metso pystyi varmistumaan sopimusvalmistajan alihankkijoiden laadusta. Sopimusvalmistaja korjasi auditointipoikkeamat siirron kohdetehtaassa, minkä jälkeen Metson auditoijat totesivat tehtaan Atex-laitteiden tuotantoon kelpaavaksi ja myönsivät tehtaalte Metson QAN-sertifikaatin laajennuksen.

5.5 Siirtojärjestys

Siirtoon liittyi tässä tapauksessa useita eri tuotteita, joiden kesken piti miettiä helpoin ja turvallisoin järjestys siirtää tuotteet. Mahdollisuuksia on useita. Eräs tapa on siirtää kaikki tuotteet yhtä aikaa uuteen valmistuspaikkaan, mutta tämän vaihtoehdon miinuspuolena ovat mahdolliset systemaattiset ongelmat tuotannon ylösajossa. Mikäli siis jotain ongelmia tulee, vaikuttavat ne kaikkiin tuotteisiin. Siirtoa kannattaa siis harjoitella jollain sellaisella tuotteella, jonka tuotannossa suunniteltua pidempi katkos ei vaikuta merkittävästi lopputuotteen tekoon. Tällaisia tuotteita ovat pienivolyymiset tuotteet, tuotteet joilla on poikkeuksellisen suuri puskurivarasto kulutukseensa nähden, tai tässä tapauksessa myös suurivolyymiset tuotteet,

joilla on suuren kulutuksensa takia useampia testausasemia. Useampi testausasema tarkoittaa sitä, että tuotetta voidaan valmistaa sekä uudessa että vanhassa tehtaassa yhtä aikaa.

Ongelmaksi kyseisessä siirrossa muodostui kaikille tuotteille yhteinen lakkauskone, joka siirtyi tuotteiden mukana uuteen tehtaaseen. Jokainen tuote lakataan valmistuksen päätteeksi, joten yhden ainoan lakkauskoneen olemassaolo puoltaisi kaikkien korttien siirtämistä kerralla. Tuotannon ylösajon systemaattisen ongelman riski katsottiin kuitenkin niin suureksi, että siirto haluttiin ottaa varmanpäälle, vaikka kustannukset hiukan kohoaisivatkin. Tämä sulki siis pois vaihtoehdon, että kaikkien tuotteiden valmistus siirrettäisiin kerralla uuteen tuotantolaitokseen.

Metso sai itse vaikuttaa lopulliseen tuotteiden siirtojärjestykseen, joka sovittiin yhdessä sopimusvalmistajan ja Metson kesken. Siirto päätettiin aloittaa kahdella eri lähestymistavalla yhtä aikaa. Todella yksinkertaiset tuotteet, joiden siirrosta aiheutuvien riskien katsottiin olevan erittäin pienet, siirrettäisiin ensimmäisten tuotteiden joukossa kerralla kohdetehtaaseen. Näiden tuotteiden turvana olisivat vain puskurivarastot, jotka oltiin tuotteille tehty vanhassa valmistuspaikassa. Samaan aikaan alettaisiin siirtää myös monimutkaisempia suuren volyymin tuotteita. Näiden tuotteiden kohdalla kaksi lopputestausasemaa mahdollistivat tuotteiden yhtäaikaisen valmistuksen kahdessa paikassa. Samalla päästäisiin monimutkaisimpia kortteja testattaessa varmistamaan kohdetehtaan kyky tuottaa laadukkaita tuotteita.

Lakkauskone päätettiin siirtää vasta viimeisten tuotteiden kanssa yhtä aikaa. Näin päästiin ensin varmistamaan juotoslaadun säilyminen. Koska kaikki tuotteet piti kuitenkin lakata ennen toimittamista Metsolle, oli valmiit lakkaamattomat tuotteet kuljetettava vanhaan tuotantolaitokseen lakattaviksi. Vanhan tehtaan ollessa Suomessa ei tätä ylimääräistä tuotteiden kuljettamista pidetty kovinkaan merkittävänä asiana verrattuna kaikkien tuotteiden ja lakkauskoneen yhtäaikaiseen siirtoon liittyviin systemaattisiin riskeihin. Ostettavien tuotteiden toimitusaika kuitenkin kasvoi väliaikaisesti

suuremmaksi kuin siirron jälkeinen toimitusaika oli. Tämä piti huomioida myös siirronaikaisten puskurivarastojen kokoa laskettaessa.

5.6 Puskurivarastot

Metson tuotannon jatkumisen varmistaminen päätettiin hoitaa puskuroimalla tuotteita laskennallisesti riittävä määrä kattamaan suunniteltu toimituskatkos. Puskureiden laskennassa käytettiin lähtökohtana sopimusvalmistajan ilmoittamaa suunniteltua tuotantokatkoksen kestoja per tuote. Suunniteltu katkoksen kesto oli kolme viikkoa jokaisella tuotteella. Metson tehtäväksi jäi laskea tuotteiden kulutus siirron aikana ja määritellä itse haluamansa varmuuskerroin kaikille tuotteille. Siirron aikana kulutettavien tuotteiden laskenta osoittautui ongelmalliseksi siksi, että perinteisesti asennoitintehtaan tilauskanta on todella lyhyt. Lopputuotteet tilataan lyhyellä toimitusajalla, eikä kapasiteettia myydä kovin aikaisin loppuun. Asennoittimia saattaa normaaleissa olosuhteissa tulla tilauskantaan noin kahden–kolmen viikon päähän nykyhetkestä suuriakin määriä. Kun tähän yhdistää sen, että puskurivarastot täytettiin normaalituotannon ohessa pidemmän ajanjakson aikana, piti puskurivarastojen koot päättää hyvissä ajoin ennen varsinaista siirtoaajankohtaa. Tämä teki tuotteiden kulutuksen ennustamisen haastavaksi ja puskureiden kokoa määritettäessä käytettiin yleisesti hieman ylimitoitettua varmuuskerrointa.

Kaikkein yksinkertaisimmilla tuotteilla päätettiin kuitenkin ottaa puskuriiin vain hieman yli suunnitellun siirron keston ajan riittävä määrä valmiita tuotteita. Näilläkin tuotteilla käytettiin varmuuskerrointa siksi, ettei Metson kulutusta tuotteille pystytty aukottomasti ennustamaan ennen siirtoa, vaan helppojenkin tuotteiden osalta oli varauduttava yllättäviin kulutuspiikkeihin. Yksinkertaisimmat elektroniikkakortit sisälsivät vain muutamia peruskomponentteja ja liittimiä, joten niiden tuotannon aloituksen onnistumiseen aikataulussaan luotettiin lähes täysin. Aikataulun luotettavuutta paransi myös se, että kaikkien elektroniikkatuotteiden stensiilit kahdennettiin. Stensiilit ovat teräslevyjä, joiden reikien läpi juotospasta painetaan piirikortin pinnalle ennen komponenttien ladontaa. Toiset stensiilit jäivät vanhaan tuotantolaitokseen, jossa voitiin jatkaa normaalia tuotantoa

samalla, kun toisilla aloitettiin jo elektroniikkakorttien valmistaminen uudessa tuotantolaitoksessa. Myös korttien valmistuksessa tarvittavia komponentteja hankittiin molempiin valmistuspaikkoihin. Kahdennetut stensiilit ja molempiin paikkoihin hankitut komponentit tarkoittivat sitä, että uudessa tuotantolaitoksessa pystyttiin tekemään tuotteita aina testausvaiheeseen saakka valmiiksi odottamaan testerin siirtoa. Ennakkoon tekeminen poisti näin ollen osan aikatauluriskistä.

5.7 Koe-erät

Jokaista ostettavaa korttia otettiin Metsolle normaaliin tuotantotestiin niiden toiminnan varmistamiseksi muutamia kappaleita. Näiden kappaleiden lisäksi määriteltiin erilliset koe-erät kaikkein monimutkaisimmista korteista, joille tehtäisiin kattavampi laadunvarmistustestaus. Kattavampaan testaukseen valikoitiin kortteja, joiden tiedettiin olevan kriittisiä, rakenteeltaan monimutkaisimpia tai keskenään riittävän erilaisia kortteja. Osassa korteista erot ovat keskenään pieniä. Joitain komponentteja voidaan jättää tietyillä korteilla latomatta, jos jokin ominaisuus halutaan jättää pois. Joillakin korteilla kaikki komponentit ovat täysin samoja, mutta kortilla oleva sulautettu ohjelmisto on erilainen. Testeissä oli tarkoitus keskittyä nimenomaan elektroniikan laatuun. Kun vielä tiedettiin, että komponentit eivät prosessissa ole vaihtuneet, vaan ainoastaan valmistuslinja, niin testaus keskittyi juotoslaadun varmistamiseen ja ladontavirheiden etsimiseen. Tästä syystä kattavampaan testaukseen ei otettu mukaan kaikkia ostettavia nimikkeitä. Koe-eräksi otettiin aluksi viittä eri ostonimikettä, kymmenen kappaletta kutakin, joilla hyväksyntätestit oli määrä suorittaa. Hyväksyntätestien eri osioihin käytettiin testin luonteesta riippuen joko edelliset testit läpikäyneitä kortteja, uusia kortteja tai kumpiakin. Mikäli testi oli rikkova, ei samaa korttia voitu enää seuraavassa testissä käyttää. Välillä taas seuraavassa testissä voitiin varmistaa edellisen testin läpikäyneen kortin toiminnallisuus uudelleen. Kattavampiin testeihin valittiin asennoitintehtaan volyymituotesarjan, ND9000:n kortteja niiden kriittisyyden takia.

5.8 Laadunvarmistus

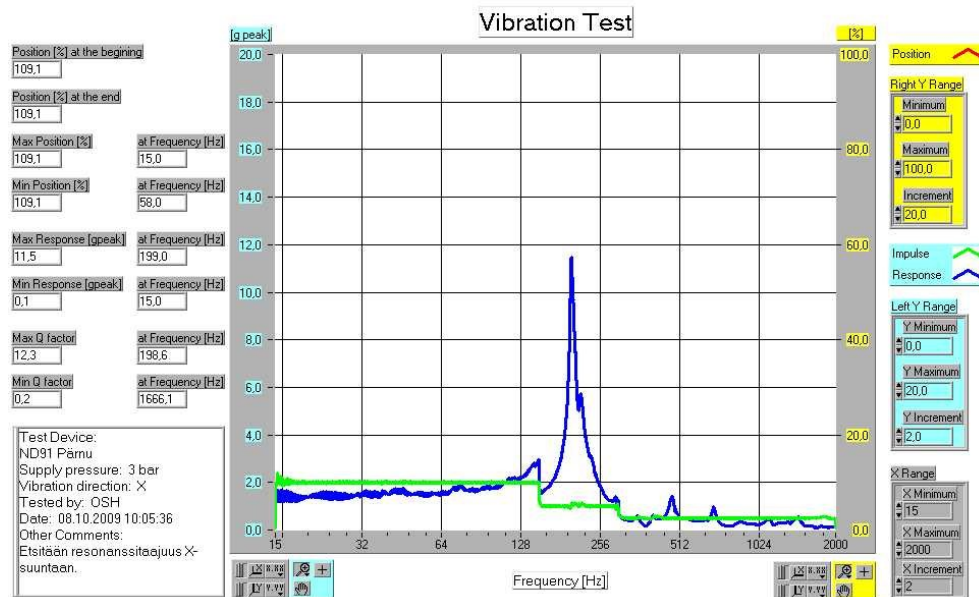
Elektroniikkakorttien laatu verifioidaan sopimusvalmistajan normaalissakin tuotannossa tarkasti. Ensin kaikille komponenteille on vastaanottotarkastus, jossa käydään läpi kaikki pakkauksen merkinnät ja tutkitaan vastaavuus käytettävien komponenttien listaan. Samalla jotkin osat, esimerkiksi piirilevyt, tarkastetaan otospohjaisesti visuaalisesti. Juotospastan levitys, komponenttien ladonta ja korttien uunitus tehdään automaattisella linjastolla, jonka jälkeen lähes valmiit kortit siirretään Automated Optical inspection -laitteiston (AOI) tarkastettavaksi. Käytännössä AOI on konenäköön ja opetettuun valintaan perustuva automaattinen visuaalinen tarkastus korteille. Huonot juotokset, juotosmassan puutokset ja komponenttien vinous, huono paikoitus tai puuttuminen jäävät kiinni AOI:ssa. Visuaalisen tarkastuksen jälkeen kortit siirtyvät käsijuotosten, jos sellaisia kortille tarvitaan, kautta tuotantotesterin testattavaksi. Tässä testerissä kortit asetetaan alustalle ja testipisteisiin tuodaan kontaktipiikit. Näiden piikkien avulla mitataan korteilta eri kohtia ja varmistetaan toimintatilanteessa sähkön ja signaalien kulkeminen kortilla. Tuotantotesterit ovat Metson omaisuutta, vaikkakin ylläpidon ja pienet huoltotyöt sopimusvalmistaja näille testereille hoitaa. Testauksen jälkeen kortit siirtyvät käsin tehtävän esilakkauksen kautta varsinaiselle lakkauskoneelle lakattaviksi. Lakan kuivumisen jälkeen kortit ovat normaalisti toimitettavissa.

Kaikkien näiden normaaleiden laadunvarmistusten lisäksi haluttiin siirtotilanteessa tehdä myös joukko muita testejä korteille, jotta laadun säilymisestä voitiin varmistua. Tätä ylimääräistä testausta varten tehtiin työn konseptin (luku 6) mukainen validointi- ja verifiointisuunnitelma (V&V Plan). Tämän siirron validointi- ja verifiointisuunnitelma on nähtävissä liitteessä 1. Tätä suunnitelmaa noudatettiin siirron yhteydessä ja seuraavaa testiä ei ollut pääsääntöisesti lupa aloittaa, ennen kuin edellinen testi oli saatu suoritetuksi hyväksytysti. Joitakin testejä tehtiin ajan säästämiseksi joko hieman päällekkäin tai peräkkäin niin, että testit hyväksyttiin yhtä aikaa niiden tekemisen jälkeen.

Ensimmäisenä testinä tehtiin laajempi visuaalinen tarkistus, jossa tutkittiin juotoslaatua ja mahdollisia tinahelmiä korttien pinnalta mikroskoopilla. Metson, sopimusvalmistajan ja ulkopuolisten asiantuntijoiden ennalta määrittelemät paikat kuvattiin korteilta mikroskoopilla ja kuvia tutkittiin ensin sopimusvalmistajan ja myöhemmin Metson, sekä lopuksi ulkopuolisen asiantuntijan toimesta. Toisena testinä oli röntgenkuvaus, jolla pääsee näkemään juotosten sisään sekä komponenttien ja piirikortin väliin. Tällä testillä haluttiin tutkia, kuinka hyviä juotokset olivat ja löytyisikö juotosten alta voideja, eli kaasutaskuja, joiden kohdalla juotoksen kontakti ei ole täydellinen. Myös tässä testissä käytettiin ulkopuolisten elektroniikka-alan asiantuntijoiden apua kuvattavien paikkojen määrittelymiseen, kuvaamiseen ja kuvien tulkitsemiseen. Molemmissa testeissä, sekä visuaalisessa että röntgenkuvauksessa, referenssinä käytettiin vanhan valmistuspaikan tuottamia kortteja.

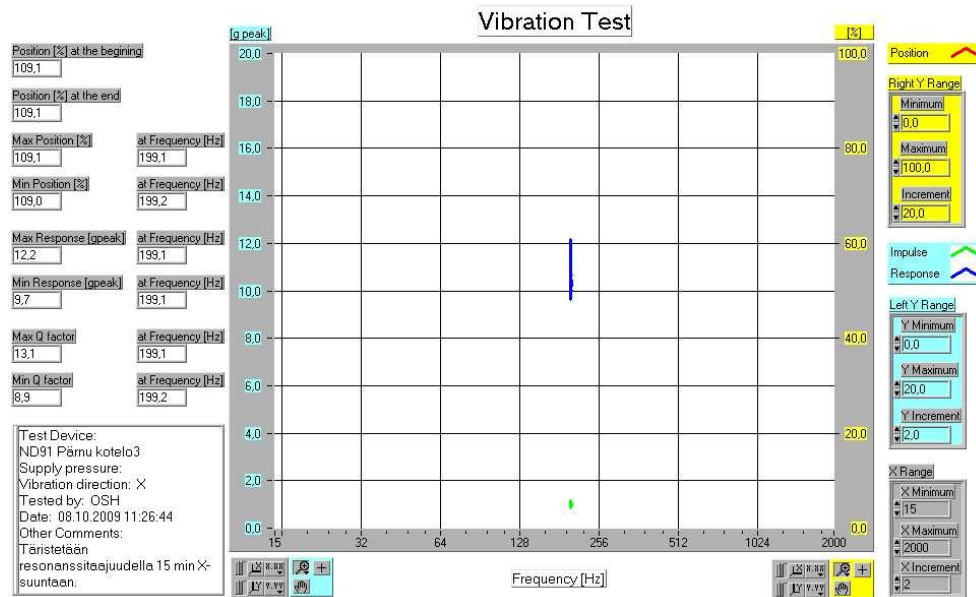
Mikroskooppi- ja röntgenkuvausten jälkeen hyväksytyn koe-erän korteista osa altistettiin rajuille lämpötilan muutoksille lämpösyklitestissä. Korteista koottiin kymmenen asennoitinta normaalin kokoonpanoprosessin mukaisesti ja niiden toiminta varmistettiin Metson tuotantotestereissä. Tämän jälkeen laitteet asetettiin lämpökaappiin ja niihin kytkettiin paineilma, sekä laitteita ohjaava milliampeerisignaali. Laitteiden toimintaa seurattiin Metson Field Care -ohjelmiston avulla, jolla voidaan muun muassa seurata laitteen toimintaa sen oman diagnostiikan avulla. Lämpösyklitestissä tehtiin vuorokauden mittaisia lämpösyklauksia, jotka alkoivat jäähdyttämällä kaappi kahdessa tunnissa huoneenlämpötilasta -40 asteeseen celsiusta. Tässä lämpötilassa kaappia pidettiin neljä tuntia, jonka jälkeen se lämmitettiin kahdessa tunnissa +20 asteeseen celsiusta. Korteja pidettiin tässä lämpötilassa neljä tuntia, jonka jälkeen siirryttiin kahdessa tunnissa +85 asteeseen celsiusta. Kuumassa kortteja pidettiin taas neljä tuntia, jonka jälkeen siirryttiin kahdessa tunnissa huoneenlämpöön, eli +20 asteeseen. Tästä sykli aloitettiin uudestaan ja syklausta jatkettiin seitsemän päivää. Koko tuon ajan laitteiden toimintaa monitoroitiin ja lämpösyklauksen loppuessa laitteet ajettiin uudelleen tuotantotesterin läpi.

Lämpösyklitestin jälkeen seuraavana suoritettiin tärinätesti sinimuotoisella herätteellä. Aluksi etsittiin tärinäpenkissä laitteen resonanssitaajuus pyyhkäisemällä taajuusalue 15 hertsistä 2000 hertsiin. Tällainen taajuuspyyhkäisy on nähtävissä kuvassa 13.



Kuva 13, Taajuuspyyhkäisy 15–2000 Hz, resonanssitaajuuden löytämiseksi, esimerkkilaitte, suunta X.

Löydettyä resonanssitaajuutta käytettiin varsinaisessa tärinätestauksessa. Resonanssitaajuudella tarkoitetaan sitä taajuutta, jolla laitteeseen kohdistuu suurin G-voima. Metson oman laboratorion tärinätestipenkki kykenee tuottamaan taajuuksilla 15–150 Hz kahden G:n herätteen, 150–300 Hz yhden G:n herätteen ja taajuuksilla 300–2000 Hz puolen G:n herätteen. Näitä herätteitä käytettiin myös tärinätestauksessa. Resonanssitaajuus etsittiin ja tärinätesti suoritettiin jokaiselle laitteelle kolmeen eri suuntaan, eli suuntiin ylös – alas, eteen – taakse, sekä oikealle – vasemmalle. Resonanssitaajuus eri suuntiin löytyi väliltä 130–200 Hz, joten herätteenä käytettiin resonanssitaajuudesta riippuen joko yhtä tai kahta G:tä. Vaste, eli laitteen kokema värähtelyn aiheuttama kiihtyvyys, vaihteli laitteesta ja suunnasta riippuen 9–14 G:n välillä. Esimerkkilaitteen vaste resonanssitaajuudella on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14, Tärinätesti esimerkkilaitteella suunnassa X resonanssitaajuuksella.

Jokaista testissä ollutta laitetta täristettiin resonanssitaajuuksella noin 10 G:n kiihtyvyydellä 15 minuutin ajan kaikkiin kolmeen suuntaan. Tärinätestin jälkeen laitteiden toiminta varmistettiin kytkemällä niihin paineilma ja ohjaussignaali, sekä varmistamalla että laite seuraa annettua ohjaussignaalia normaalisti. Tärinätestissä käytettiin sekä uusista korteista koottuja laitteita, että myös lämpösyklitestauksen läpikäyneitä laitteita. Yhteensä laitteita oli tärinätestissä 8 kappaletta, joissa jokaisessa oli kolme sopimusvalmistajan tuottamaa erilaista elektroniikkakorttia.

Tärinätestin jälkeen samoille laitteille tehtiin pudotuskoe. Pudotuskoetta ei voitu jokaiselle kappaleelle suorittaa kaikkiin kolmeen suuntaan, sillä asennoittimen spesifikaation mukaan laitteen pitää kestää yksi pudotus metrin korkeudelta kovalle pinnalle. Kaikkien kolmen tärinätestissä valitun suunnan mukaiset pudotustestit haluttiin kuitenkin tehdä, joten kaksi laitteista pudotettiin pohjalleen, kolme kyljelleen, siten että voima kohdistui tärinätestin eteen – taakse suuntaan ja kolme kyljelleen siten, että voima kohdistui tärinätestin oikealle – vasemmalle suuntaan. Pohjalleen päädyttiin tiputtamaan vain kaksi laitetta siitä syystä, että sen suuntaisen tärähdyksen vaikutus elektroniikkakorteille ja etenkin komponenttien kiinnipysymiselle katsottiin olevan vähiten haitallisen. Kortit on asemoitu laitteeseen siten, että

kyljelleen tiputettaessa aiheutuu kortin komponentteihin elektroniikkakortin pinnan suuntainen voima ja pohjalleen tiputettaessa komponentteihin aiheutuu pinnan normaalin suuntainen voima.

Seuraavaksi uuden tehtaan tuottamista korteista valittiin sattumanvaraisesti viisi kappaletta kutakin korttityyppiä tuotantotestausta varten. Korteista koottiin asennoittimet normaalin kokoonpanoprosessin mukaisesti ja ne ajettiin asennoittimien tuotantotestauksen läpi. Testauksen hyväksyntäkriteerinä oli, ettei yhtään elektroniikkakorteista johtuvaa hylkäystä tapahtuisi. Näiden ylimääräisten elektroniikan testien jälkeen tuotannon katsottiin tuottavan riittävän hyvää laatua uudessa valmistuspaikassa ja lupa tuotannon alasajolle vanhassa tehtaassa voitiin antaa. Tässä vaiheessa myös lakkauskone siirrettiin uuteen tehtaaseen. Myös lakkauksen laatu ja lakkauksen tuottama elektroniikkakorttien korroosionkestävyys haluttiin varmistaa. Korroosiokestävyyden ja lakkauksen laadun varmistamiseksi otettiin uudessa tehtaassa lakattuja kortteja kolme kappaletta suolasumutesteihin. Verrokkikortteina käytettiin kahta vanhassa tehtaassa tuotettua ja lakattua korttia. Näiden koe-erien korttien korrodoitumista seurattiin suolasumutestissä 14 päivän ajan. Korttien päälle sumutettiin 5 % suolaliuosta ja ne laitettiin 40 asteen lämpötilaan 95 % suhteelliseen kosteuteen. Korrodoitumista seurattiin visuaalisesti ja tarkoituksena oli varmistaa, etteivät uuden tehtaan tuottamat kortit korrodoidu nopeammin, kuin vanhan tehtaan tuottamat, jo kentällä hyväksi todetut kortit.

6 Konsepti

6.1 Siirtokonseptista

Kaikki siirtoprojektit ovat keskenään erilaisia, johtuen eri asiakasyritysten erilaisista tarpeista, sopimusvalmistajien tuotannon eroavaisuuksista, sekä siirrettävän tuotteen tyypistä, valmistettavuudesta ja kriittisyydestä asiakasyritykselle. Tuotteen laadunvarmistus riippuu paljon siitä, onko kyseessä esimerkiksi elektroniikkatuote, kuten tässä tapauksessa, vai valukappale, mekaaninen kokoonpano tai muu valmistettava osa. Lisäksi osa sopimusvalmistajista on valmiimpia tekemään oman tuotantonsa siirrossa läheistä yhteistyötä asiakasyritystensä kanssa kuin toiset. Kaikki nämä seikat vaikuttavat siihen, miten tällaista siirron konseptia pystytään hyödyntämään vastaavissa tulevilla tilanteissa. Tavoitteena Metson asennoitintehtaalla on aina olla mukana oman tuotantonsa kannalta vähänkään keskeisemmän tuotteen siirrossa, jotta asennoitintehtaan oman tuotannon jatkuminen keskeytyksettä ja laadukkaana voidaan varmistaa.

Tässä konseptissa tarkoituksena on pyrkiä käsittelemään asioita, jotka vastaavanlaisessa siirtoprojektissa ainakin pitää ottaa huomioon. Lisäksi tarkoituksena on pyrkiä tuottamaan eräänlainen tarkastuslista, jota vasten Metso pystyy vastaavissa tilanteissa tarkistamaan, että siirtoa on mietitty ja suunniteltu kaikista tarpeellisista näkökulmista. Ideana on myös antaa esimerkki siirtoprojektista, jossa Metso asiakasyrityksenä oli vahvasti mukana alun suunnitteluosuudesta alkaen, ja näin kannustaa vastaavaan toimintaan myös tulevaisuudessa. Konseptista piirretty muistikartta on esitetty liitteessä 2.

6.2 Esivalmistelut

Siirron syitä kannattaa pohtia tarkkaan ennen tuotannon siirtämisen päätöksen tekoa. Tuotannonsiirrolle on olemassa erilaisia syitä, kuten tuotteen hinta, laatu, alihankkijan tuotannon tehostaminen toimintoja keskittämällä tai uuteen alihankkijaan vaihtaminen. Yhä useammin tuotantoa siirretään myös strategisista syistä, kuten avainasiakkaiden lähelle tai uusille markkinoille pääsemisen takia. Siirtojen syitä on käsitelty tarkemmin luvussa

3. Kun päätös tuotannon siirtämisestä on tehty, alkavat esivalmistelut siirtoa varten. Ensimmäisenä pitää laatia suunnitelma, jonka mukaan siirto tullaan suorittamaan. Suunnitelman perustana on kaksi asiaa, aikataulu ja resursointi. Nämä myös vaikuttavat toisiinsa siten, että mitä enemmän resursseja siirtoa varten on varattu, sitä nopeammaksi aikataulun voi suunnitella. Minimikeston siirrolle määrittelevät kuitenkin loppujen lopuksi oston aikataulut, koe-erien tuotantoaikataulu, sekä testauksen ja validoinnin aikataulu. Kaikki nämä pitää sisällyttää myös suunnitelmaan, jotta ymmärrys siirron minimikestosta ja työmäärästä selviää jo suunnitelmasta. Aikataulutusta ei kannata tehdä liian kireäksi, sillä yllätyksiä tulee vastaan melkein väkisinkin, ainakin laajemmassa siirrossa, mutta riittävän tiukaksi, jotta siirron kokonaiskesto ei veny liian pitkälle kalenteriajalle. Tämä saattaa aiheuttaa jo saatavuusongelmia jos pitkään keston ei olla varauduttu kunnolla puskurivarastoilla, päällekkäisellä tuotannolla kahdessa eri paikassa tai ostoilla kahdelta eri toimittajalta. Aikataulun tekemisessä ja resursoinnin suunnittelussa pitäisi ottaa huomioon soveltuvilta osin kaikki luvussa kuusi esitetyt asiat.

Resursoinnissa tärkeintä on se, että jokaisesta osallistuvasta yksiköstä on nimettynä henkilö, joka vastaa siirron onnistumisesta kyseisen yksikön osalta. Yksiköillä tässä tarkoitetaan lähettävää tehdasta, josta tuotanto siirretään, vastaanottavaa tehdasta, jonne tuotanto siirretään, sekä asiakasyritystä ja mahdollisia sopimusvalmistajan kriittisiä osa- tai komponenttitoimittajia, mikäli heillä on siirrossa työpanosta. Resursoinnissa kannattaa ottaa heti alusta huomioon myös auditoijat, hyväksyntätestien suunnittelijat ja tekijät, sekä mahdollisten ulkopuolisten asiantuntijoiden varaaminen oikeaan aikaan siirtoprojektin käyttöön.

Ennen tuotannon siirtämistä uuteen valmistuspaikkaan, pitää auditoinnin olla tehtynä kohdetehtaalte. Auditoinnilla varmistetaan, että tuleva valmistuspaikka vastaa standardien määrittämiä minimivaatimuksia ja Metson vaatimuksia sopimusvalmistajille. Suurin osa Metson asennoitintehtaan alihankkijoista tai sopimusvalmistajista tekee tuotteita, jotka ovat osaltaan mukana Ex-kriittisissä kokoonpanoissa. Tämän takia myös

sopimusvalmistajien tehtaiden pitää olla auditoitu Atex-hyväksynnän mukaiselle tuotannolle. Uuden tehtaan tai toimittajan auditoi Metson oma ryhmä, jotta voidaan varmistaa myös Metson omien vaatimusten täyttyminen auditoinnin kohteena olevassa valmistuspaikassa. Auditoinnista on kerrottu enemmän kappaleessa 2.2.2.

Siirron aiheuttamiin mahdollisiin toimituskatkoksiin sopimusvalmistajan tuotteille pitää asiakasyrityksessä varautua ennakoon. Helpoin, mutta ei halvin tapa, on ottaa varastoon riittävä määrä tuotteita puskuriin, josta tuotteita sitten käytetään toimituskatkosten aikana. Tämä ei myöskään ole varmin tapa, sillä jos puskurit on mitoitettu väärin tai tuotantokatkos kestää aiottua pidempään saattavat puskurin tuotteet loppua. Uusia toimituksia ei tässä tapauksessa välttämättä saada ennen kuin siirto on tehty. Puskurointia vaikeuttaa entisestään kysynnän ennakkoinnin hankaluus. Suunnitelmat puskuroinnista pitäisi tehdä hyvissä ajoin ennen siirron aloittamista, jotta puskurivarastot ehditään täyttää vanhasta valmistuspaikasta, eikä siirron aikaista kysyntää pystytä välttämättä ennakoimaan kovin tarkasti kauan ennen itse siirron aloittamista. Tähän ratkaisuna voisi olla vakioitu kysyntä siirron ajaksi, eli myyntirajoitusten asettaminen tietylle, ennalta ilmoitetulle ajanjaksolle. Ongelmaksi toki muodostuu mahdollinen tulon menetys, jos myyntiä joudutaan paljon rajoittamaan. Puskurivarastoa suurentamalla voidaan myynti pitää avoinna, mutta tällöin varastointikustannukset nousevat korkeammiksi. Varmempi tapa varautua siirtoon on pyrkiä tekemään hetken aikaa päällekkäistä tuotantoa kahdessa eri tuotantolaitoksessa. Jos kuitenkin investoinnit tuotannon kahdentamiselle kasvavat tästä syystä korkeiksi, kannattaa turvautua puskurointiin. Joka tapauksessa siirronaikainen saatavuus asiakasyrityksen lopputuotteille on jollakin tavalla taattava.

Aikatauluun vaikuttaa paljon se, voidaanko tuotantoa tehdä yhtä aikaa sekä uudessa, että vanhassa tuotantolaitoksessa. Käytännössä tämä riippuu siitä, siirretäänkö tuotantovälineet tai osa niistä vanhasta tuotantolaitoksesta uuteen vai hankitaanko uuteen tuotantolaitokseen omat tuotantovälineensä. Tuotannon vaatiessa kalliita välineitä, kuten testereitä, valumuotteja tai kokoonpanotyökaluja, on ne usein järkevää siirtää vanhasta

tuotantolaitoksesta uuteen. Jos tuotantoa voidaan tehdä kahdessa paikassa yhtä aikaa, on esimerkiksi koe-erät mahdollista tehdä ja testata ennen varsinaista valmistuksen siirtämistä. Mikäli tuotantovälineitä siirretään, pitää siirron yhteydessä varautua pidempään tuotantokatkokseen johtuen koe-erien tekemisestä ja testaamisesta. Tämä saattaa vaikuttaa testauksen kattavuuteen tai puskureiden kokoon, joten yhteiset tuotantovälineet uuden ja vanhan tuotantolaitoksen välillä pitää kartoittaa jo esivalmisteluvaiheessa.

Esivalmisteluihin kuuluu myös vastaanottavassa tehtaassa, eli tehtaassa jonne tuotanto siirretään, tuotannon aloitukseen varautuminen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että käytettäviä komponentteja ostetaan ennakkoon varastoon tai vähintään suunniteltuun tuotannon aloitusajankohtaan. Lisäksi tuotantotilojen ja -välineiden pitää olla niin lopullisessa kunnossa kuin mahdollista tuotannon aloittamista varten, jo ennen kuin varsinaista siirtoa aletaan toteuttamaan.

Ennakkovalmisteluiden jälkeen ei tämän konseptin mukaan vielä kannata aloittaa itse siirtoa, vaan seuraavana on varmistettava, että uuden tehtaan laatu on riittävää asiakasyritykselle. Tämän jälkeen päästään itse valmistuksen siirtoon.

6.3 Laadunvarmistus

Uuden tuotantolaitoksen toiminnan ja sen tuottaman laadun varmistaminen käytännössä on yksi suuri edellytys siirron onnistumiselle. Mikäli uusi tuotantolaitos ei tuota riittävää laatua asiakasyrityksen lopputuotetta varten, ei siirron muiden osa-alueiden onnistumisella, kuten aikataulun pitävyydellä tai hintatavoitteiden täyttymisellä ole mitään merkitystä. Laadun säilyminen riittävällä tasolla on varmistettava testein, kun uuteen tuotantolaitokseen siirrytään.

Ensimmäisenä on pohdittava minkälaiset testit antavat riittävän tiedon laadusta. Jos kyseessä on esimerkiksi alumiinivalukappale, täytyy siitä tarkistaa pinnanlaatu, oikeat pinnan muodot, sekä huokoisuus valun sisällä, jos nämä katsotaan kriittisiksi. Testien määrä, laatu ja kattavuus riippuvat täysin siirrettävästä tuotteesta ja tuotannosta, osan käyttötarkoituksesta ja

kriittisyydestä. Kaikkia siirtoja koskevaa testisuunnitelmaa on mahdotonta ennakkoon määritellä, vaan se pitää miettiä jokaisen siirron kohdalla erikseen.

Kaikkien siirtojen, kuten myös uusien toimittajien, laadunvarmistukselle yhteistä on se, että tuotteiden laatu on varmistettava uuden tehtaan tuottamista fyysisistä tuotteista. Pelkästään teoreettinen laadun tarkastelu, esimerkiksi valmistuksen simulointi, ei yleensä riitä. Laadunvarmistusta varten tarvitaan uudesta tehtaasta koe-eriä, joita testaamalla ja tutkimalla saadaan tietoon valmistusprosessin mahdolliset puutteet, ajatellen laadukkaan tuotteen tuottamista. Koe-erien koko ja lukumäärä riippuvat taas täysin tuotteesta. Voi olla, että yksi pieni koe-erä riittää asiakasyritykselle riittävän laadun varmistamiseksi yksinkertaisilla tuotteilla. Monimutkaisilla tai asiakkaalle kriittisillä osilla taas kannattaa varautua suurempiin ja useampaan koe-erään. Mitä kattavampaa testauksen pitää olla, sitä enemmän tarvitaan testattavia osia ja toisaalta, mitä kriittisempi tuote on, sitä suurempi otos kannattaa testata. Tällöin todennäköisyyden mukaan valmistusprosessin mahdolliset poikkeamat tulevat varmemmin esille koe-erää testattaessa. Koe-erien testaaminen on käytännössä hyväksyntätestausta, jossa määritellään onko tuote hyväksytty vai hylätty. Hyväksyntätestauksesta on kerrottu enemmän kappaleessa 4.3.

Laadunvarmistus vähänkään monimutkaisemmilla kappaleilla tai tuotteilla voi olla pitkäkestoinen prosessi. Tämä kannattaa kuitenkin tehdä hyvin ja kattavasti, sillä kun lupa tuotannon siirrolle vanhasta tuotantolaitoksesta uuteen on annettu, saa asiakasyritys uuden tuotantolaitoksen tuottaman laadun mukaisia tuotteita. Kun lupa on kerran annettu, on erittäin epätodennäköistä, että alihankkija pitää enää yllä kahta tuotantolaitosta vain varmuuden vuoksi. Kuten kappaleessa 6.2 todettiin, tämä ei aina ole edes mahdollista, sillä osa tuotantovälineistä saatetaan siirtää uuteen tuotantolaitokseen. Laadunvarmistuksen suunnitelma kannattaa dokumentoida hyvin, jotta kaikki suunnitellut testit ja hyväksyntäportit tulee käytyä läpi. Suunnitelmasta kannattaa tehdä virallinen dokumentti, kuten validointi- ja verifiointisuunnitelma (esimerkki liitteessä 1), johon halutut

testit ja tarkistukset kirjataan. Suunnitelmaan pitää kirjata myös hyväksyntäkriteerit testeille, ettei testien hyväksymistä tarvitse alkaa pohtimaan enää testauksen aikana tai sen jälkeen. Kun hyväksymiskriteerit ovat alusta alkaen selvät, tietävät kaikki osapuolet mikä on tuotteiden minimilaadun odotusarvo, eikä aikaa kulu turhaan uusien koe-erien ja testien tekemiseen epäselvyyksistä johtuvien testien hylkäysten takia.

6.4 Valmistuksen siirto

Siirron ja laadunvarmistuksen suunnittelun jälkeen voidaan alkaa siirtää valmistusta uuteen tuotantolaitokseen. Mikäli koe-erät pystytään tekemään ennen valmistuksen siirtoa, ei niitä tarvitse enää valmistuksen siirron jälkeen tehdä. Muussa tapauksessa ensimmäisenä uuden tuotantolaitoksen on tuotettava laadunvarmistukseen käytettävät koe-erät, joiden perusteella lopullinen tuotannon aloituslupa annetaan.

Tuotantovälineiden siirto on yhdessä testauksen kanssa yksi suurimmista yksittäisistä riskeistä tuotantokatkoksen pitkittymiselle. Välineitä, kuten testereitä siirrettäessä, on aina riski niiden hajoamiselle tai käyttöönoton viivästymiselle jostain muusta syystä. Tämä kannattaa huomioida myös siirron resursoinnissa, jotta oikeat asiantuntijat ovat käytettävissä esimerkiksi juuri tuotantovälineiden käyttöönottoa varten. Riskit on myös tunnistettava ja niihin on mahdollisuuksien mukaan varauduttava esimerkiksi varaosin.

Välineiden siirtoon liittyvät asiat, kuten pakkaaminen, nostaminen, kuljetus ja käyttökuntoon laittaminen kannattaa tehdä mieluummin suunnitelmallisesti ja huolellisesti kuin kiirehtien. Vaikka aikataulu siirron osalta kävisi tiukaksi, pienikin huolimattomuus siirtoa tehdessä saattaa aiheuttaa ongelmia, jotka venyttävät aikataulua entisestään. Tuotantovälineiden siirron ja käyttöönoton jälkeen kannattaa varata aikaa niiden testikäytölle. Varsinkin herkkien koneiden ja testereiden asetusarvot saattavat siirron aikana muuttua niin, että ne täytyy kalibroida tai asemoida uudestaan. Kun tuotantovälineet on testikäytössä todettu toimiviksi, voi varsinainen tuotanto uudessa tuotantolaitoksessa alkaa.

6.5 Seurantajakso

Tuotannon alettua siirron jälkeen uudessa tuotantolaitoksessa, pitää sen toimintaa seurata aluksi tarkasti. Todennäköisesti heti tuotannon alettua esiintyy tuotantoprosessissa häiriöitä vanhan tuotantolaitoksen prosessiin nähden. Nämä johtuvat tuotannon siirtämisen riskeissä kappaleessa 3.2 mainituista syistä. Uuden tuotantolaitoksen työntekijät eivät vielä osaa kyseisen tuotteen valmistusprosessia yhtä hyvin kuin vanhan tuotantolaitoksen tekijät, hiljaista tietoa on kadonnut tuotannosta siirron yhteydessä, tuotantovälineiden asetukset eivät ehkä täysin vastaa vanhan tuotantolaitoksen aikaisia asetuksia ja niin edelleen. Mikäli kokeneen, vanhan tuotantolaitoksen työntekijän saa siirron jälkeen opastamaan uuteen tuotantolaitokseen uusia työntekijöitä, näitä alkuvaikeuksia voidaan vähentää ja niistä selviytymistä nopeuttaa. Tämä myös auttaa hiljaisen tiedon periytymistä uusille työntekijöille.

Kun alkuvaikeuksista on selvitty ja prosessi on normalisoitunut, kannattaa alkaa tarkastelemaan siirron tavoitteiden täyttymistä. Kuten kappaleessa 3.1 todettiin, on siirrolle aina jokin syy tai tavoite. Mikäli siirron perusteena oli esimerkiksi hinta, läpimenoaika tai vastaava, kannattaa ne ottaa pidempiaikaiseen seurantaan ja varmistaa että kehitys on sitä, mitä siirrolla lähdettiin tavoittelemaan. Myös uuden tuotantolaitoksen tuottamaa laatua pitää seurata sopivaksi valitulla syklillä, jotta voidaan varmistua asiakasyrityksen lopputuotteen laadun säilymisestä vähintään ennallaan. Tätä varten kannattaa laatia laadunseurantasuunnitelma tai esimerkiksi toteuttaa V&V-suunnitelman mukaiset testit uudestaan halutun ajanjakson kuluttua.

7 Tulokset

7.1 Aikataulun pitävyys

Aikataulun pitävyys suhteen nähtiin Metson osalta riskejä jo suunnitteluvaiheessa ja tästä johtuen Metso pyysi sopimusvalmistajaa aikatauluttamaan Metson tuotteiden siirtoa alkuperäistä aikataulua aikaisemmaksi. Suurimmaksi riskiksi Metso koki aikataulun mahdollisen venymisen loppuvuoden pyhien takia. Mikäli jonkun tuotteen siirto olisi ollut käynnissä juuri pyhien aikaan, olisi sopimusvalmistajan toimituksiin saattanut tulla pitkiäkin katkoksia. Siirto aloitettiin Metson tuotteiden osalta jo kesäkuun aikana suunnitelmien luomisella ja komponenttien hankkimisella varastoon.

Aikaistuksesta huolimatta siirto venyi jopa alkuperäisen suunnitellun siirtojakson yli ja koko siirron voitiin katsoa olleen valmiin Metson tuotteiden osalta vasta tammikuun lopulla. Jälkikäteen ajateltuna aikataulun venymiselle on helposti löydettävissä useita syitä, joista osa olisi ollut huomattavissa tai ainakin niihin olisi voinut paremmin varautua jo ennen projektin aloittamista. Osa taas on syitä, jotka tunnistettiin ja niihin varauduttiinkin hyvin, mutta silti ne venyttivät aikataulua.

Kaikkein eniten yksittäisistä syistä aikataulua venytti HART-PT-kortin juotoslaadun ongelmat, josta lisää tietoa löytyy kappaleesta 7.4. Periaatteessa laadun ongelmiin uudessa valmistuspaikassa varauduttiin hyvin, eikä tässäkään tapauksessa aiheutunut Metson tuotannolle minkäänlaisia katkoksia, mutta siirron aikataulua ongelmat venyttivät paljon. Vain yhden elektroniikkakortin laatuongelmista aiheutui yli kuukauden myöhästymä projektille.

Toinen suuri syy projektin aikataulun myöhästymiselle oli kaikkein suurivolyymisimman tuotteen tuotantotesterin hajoaminen siirron yhteydessä. Tämä ongelma ei kuitenkaan pysäyttänyt Metson asennoittimien toimituksia, sillä kyseisellä elektroniikkakortilla oli jo alun perin kaksi testausasemaa sen volyymin takia. Aikataulua se kuitenkin myöhästytti, sillä

ensimmäisen testerin hajotessa siirron yhteydessä, ei toista uskallettu siirtää, ennen kuin ensimmäinen oli saatu taas toimintaan.

Sopimusvalmistajan alkuperäisessä suunnitelmassa kunkin asiakkaan tuotteille oli varattu kolmen kuukauden aikaikkuna. Metson vaatiessa aikaisempaa aloitusta omien tuotteidensa siirrolle aiheutui tästä se, että sopimusvalmistaja joutui siirtämään useamman asiakkaan tuotteita yhtä aikaa. Tästä taas seurasi resursointiongelma, joka aiheutti välillä hiukan hitaan reagoinnin sopimusvalmistajan suunnalta esimerkiksi ongelmatilanteisiin sekä Metson kysymyksiin tai ehdotuksiin vastaamiseen.

Metson halu tehdä todella kattavat testit uuden tuotantolaitoksen tuottamille elektroniikkakorteille aiheutti myös myöhästymää aikataululle. Vaikka kaikki muu olisi mennyt suunnitellusti, ei kattavaa laadunvarmistusta olisi kuitenkaan saatu tehtyä kolmen kuukauden aikaikkunassa, varsinkaan kun suuri osa tästä ajasta oli tarkoitus käyttää tarkemman siirtosuunnitelman tekoon, komponenttivarastojen ja valmiiden tuotteiden puskureiden kasvattamiseen ja tietenkin itse siirtoon. Laskennallisesti Metson määrittelemät testit olisi parhaassa tapauksessa voitu ajatella suoritettavan reilussa kuukaudessa. Tästä ajasta röntgenkuvien ottaminen ja visuaalinen tarkastus sekä molempien tulosten tulkinta veisi noin viikon, lämpösyklitesti viikon ja valmistelut sitä varten pari päivää. Tärinä- ja pudotuskokeet kestäisivät noin viikon, johtuen siitä, että jokainen asennoitin piti erikseen asentaa tärinäpenkkiin kolmeen eri asentoon, jonka jälkeen jokaiselle suunnalle ajettiin taajuuspyyhkäisy ja resonanssitaajuisella tärinällä kestotesti. Tämän lisäksi jokainen tärinä- ja pudotustestin läpikäynyt asennoitin testattiin tuotantotesterissä toiminnallisuuden varmistamiseksi. Näiden testien jälkeen suolasumutesti vei vielä 14 päivää sekä yhden päivän valmistelut. Näin laskettu reilun kuukauden testausaika ei vielä pitäisi sisällään edes koe-erien valmistusta ja kuljettamista vanhaan valmistuspaikkaan lakattaviksi ja sieltä edelleen Metsolle testattaviksi. Lisäksi laskelman oletuksena on, että kaikki testit päästäisiin tekemään ilman häiriöitä ja halutulla ajanhetkellä.

7.2 Resursoinnin onnistuminen

Aikataulun pitävyyden yhteydessä mainittiin jo resursoinnin haasteista, johtuen Metson halusta muokata omien tuotteidensa siirtoaikataulua. Sopimusvalmistaja oli resursoinut tuotannon siirtoansa varten lähettävästä tehtaasta yhden projektipäällikön täysipäiväisesti hoitamaan koko tuotannon siirtoa. Asiakaskohtaista projektipäällikköä ei kuitenkaan ollut, joten resursoidun projektipäällikön piti hoitaa kaikkien asiakkaiden siirtoja. Jo alkuperäisessä aikataulussa oli nähtävissä, että varsinkin Metson siirron suunnittelun aikaan edellisten asiakkaiden tuotteiden valmistusta oltiin vielä siirtämässä. Yhden henkilön työpanos ei riittänyt tehokkaaseen projektin vetämiseen sopimusvalmistajan puolelta. Henkilö itsessään oli tehokas ja osaava, mutta hän olisi tarvinnut avukseen täysipäiväisesti asiakaskohtaisia asioita hoitaneen henkilön.

Metson puolelta voidaan myös todeta resursoinnin olleen vajavaista. Siirtoprojekti liittyi valmiisiin tuotteisiin, joten vastuu projektista Metson puolella oli tuotannolla eikä tuotekehityksellä. Tämä on sinänsä täysin ymmärrettävää, mutta tehostettu elektroniikkatuotteiden testaus vaati huomattavasti resursseja myös tuotekehityksen puolelta, varsinkin määrittelyvaiheessa. Näitä resursseja tuotanto joutui pyytämään jo valmiiksi kovin työllistetyltä tuotekehitykseltä, eikä vasteaika aina ollut paras mahdollinen. Tuotannon vetovastuun lisäksi tuotekehityksestä olisi pitänyt olla nimettynä henkilö, mieluiten elektroniikkasuunnittelija, jolle olisi ollut varattuna jo ennakoon riittävästi aikaa siirron tukemiseen.

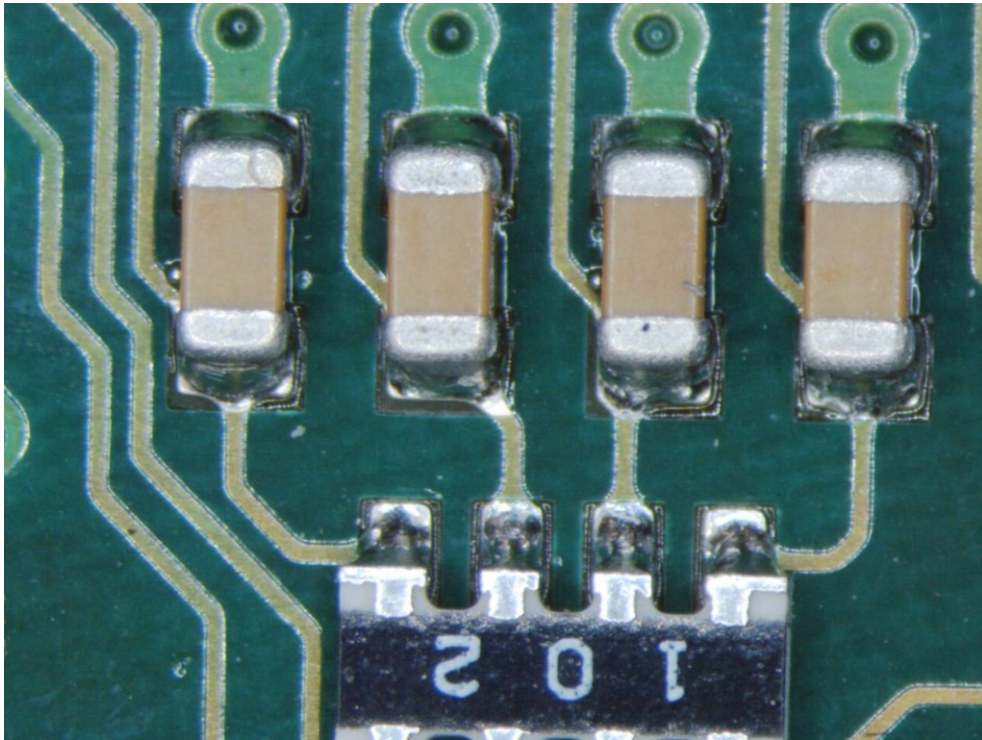
Kolmannen osapuolen resursseja tarvittiin siirrossa myös kohtuullisen runsaasti. Electrician asiantuntijat tarkastelivat tuotteiden laadun visuaalisesti kortin pinnalta ja röntgenkuvista, testerin hajotessa siirron yhteydessä tarvittiin testereitä ylläpitävää kolmannen osapuolen yritystä avuksi korjauksiin ja juotosongelmien ratkaisuun käytettiin ulkopuolista asiantuntijaa. Näiden resursointi onnistui kiitettävän hyvin ja apua saatiin aina hyvin nopeasti pyynnön jälkeen.

7.3 Visuaalinen tarkastus

Visuaalinen tarkastus suoritettiin yhteistyössä ulkopuolisen asiantuntijan kanssa. Ulkopuolisen tahon käyttäminen johtui siitä, että yksiselitteistä läpäisykriteeriä on visuaaliselle tarkastukselle vaikeaa määrittää. Tästä syystä Metso halusi, että korttien laatua tarkastelee kokenut elektroniikan asiantuntija. Korttien pintaa tutkittiin mikroskoopilla Electrian toimesta. Kortteja tutkittaessa keskityttiin erityisesti juotoslaadun tarkkailuun. Juotoslaadusta kertovat hyvin tinapallojen määrä levyn pinnalla, juotosten kirkkaus ja komponenttien suoruus juotosten jälkeen.

Testeihin otettiin ensimmäisestä koe-erästä neljää eri ostonimikettä, joissa tiedettiin olevan eniten juotettavia komponentteja ja jotka ovat Metson asennoitintehtaan tuotannon kannalta kaikkein kriittisimpiä. Testeissä käytetyt kortit olivat Valve Controller -kortti (VC-kortti), HART-kommunikointikortti, HART-PT-kommunikointikortti asentolähettimellä, sekä Foundation Fieldbus -kommunikointikortti (FF-kortti). Näistä suurin kulutus on jokaisen asennoittimen keskuksena toimivalla VC-kortilla. Sen tehtävänä on ohjata koko asennoittimen toimintaa sekä tallentaa diagnostiikkaa laitteelle. Erilaisia elektroniikkakomponentteja kortilla on useita satoja. Kommunikointikorttien tehtävänä on hoitaa asennoittimen ja käyttäjän järjestelmän välistä kommunikaatiota. Tilaava asiakas valitsee haluamansa kommunikointikortin sen mukaan, millaiseen järjestelmään asennoitin kytketään.

Vaikka Electrian mielestä kaikkien korttien yleislaatu oli kohtuullisen hyvä, löysivät he varsinkin VC-korteilta jonkin verran tinapalloja, kuten kuvasta 15 näkyy.



Kuva 15, Tinahelmiä VC-kortin pinnalla.

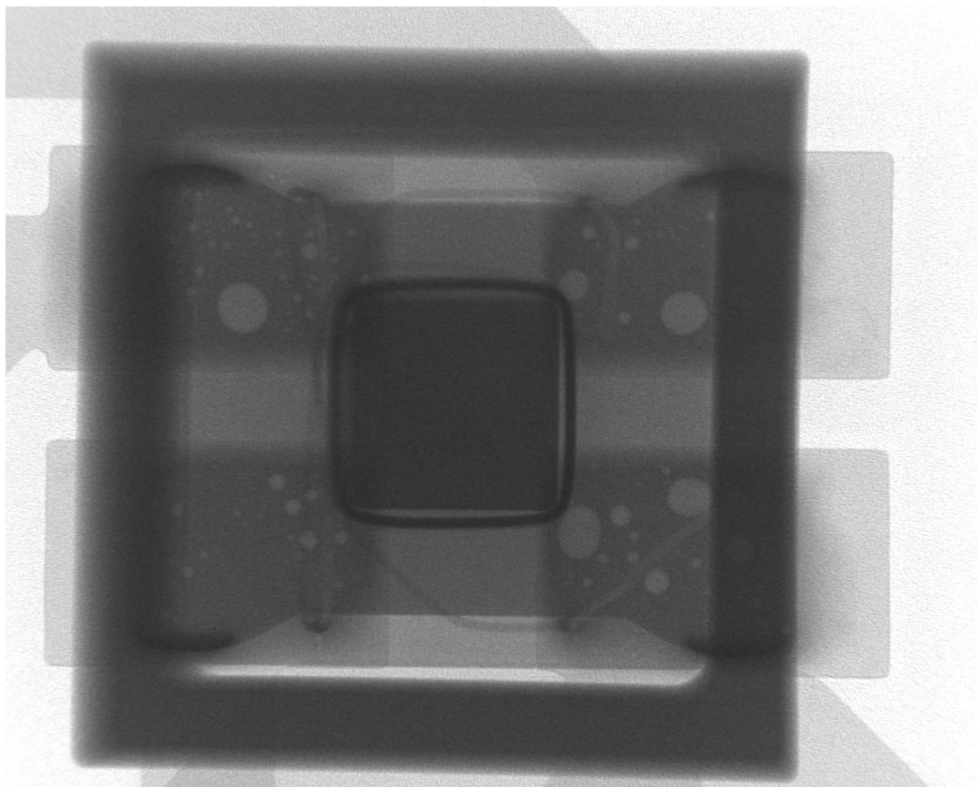
Tinahelmien ongelmana on, että vaikka ne eivät kortin valmistuttua vielä aiheuttaisikaan oikosulkuja johteiden välille, saattavat ne ajan myötä, esimerkiksi värähtelyn vaikutuksesta, irrota kortin pinnalta ja liikkua paikkaan, jossa oikosulku aiheutuu. Tämä voi estää koko kortin oikean toiminnan. Tinahelmiä voi syntyä ladottavalle kortille, jos juotospastaa käytetään liikaa. Liiallinen juotospasta voi johtua siitä, että stensiili on liian paksu tai siinä on liian suuret reiät pastan levitykseen. Ylimääräistä juotospastaa saattaa päätyä kortin pinnalle myös korttien tai stensiilin huonon pesun tuloksena. Tinahelmiä voi aiheutua myös juotusuunin liian lyhytaikaisesta esilämmityksestä, jolloin uunin lämpötila jää matalaksi, mikä johtaa tinahelmien muodostumiseen. Electrian suosituksesta Metso ei hyväksynyt ensimmäisen koe-erän VC-kortteja, vaan pyysi sopimusvalmistajaa valmistamaan toisen koe-erän muutetuilla juotusuunin parametreilla. HART-, HART-PT- ja FF-kortit läpäisivät visuaalisen tarkistuksen heti ensimmäiselle koe-erällä. Niistä ei löytynyt juurikaan tinahelmiä tai muita virheitä juotosten osalta.

Toisen koe-erän VC-kortit olivat huomattavasti ensimmäistä parempia. Uunin lämpötilaprofiilia muuttamalla sopimusvalmistaja oli päässyt eroon tinahelmistä lähes kokonaan myös VC-korteilla ja Metso hyväksyi visuaalisen tarkastuksen myös niiden osalta. Hyväksyntäpäätöstä helpotti se, että jokainen ostettava tuote myös lakataan, joten mahdollisesti muodostuvat tinahelmet eivät pääse irtoamaan kortin pinnasta ja aiheuttamaan siten oikosulkuja kortilla. Mikäli tinahelmi muodostuisi jo alkujaan paikkaan, jossa se yhdistäisi kaksi johdetta, huomattaisiin se korttien testauksessa jo sopimusvalmistajalla.

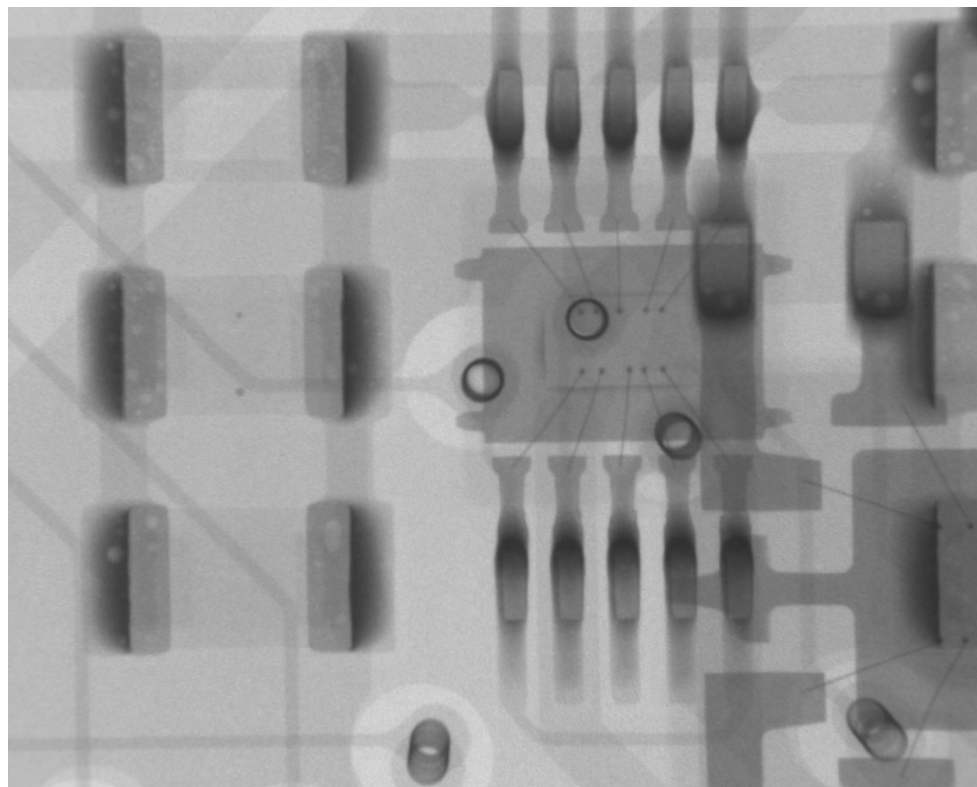
7.4 Röntgenkuvat

Röntgenkuvat korteista otettiin Metson omien elektroniikkasuunnittelijoiden määrittelemistä paikoista korteilta sopimusvalmistajan toimesta. Kuvattavat kortit olivat samat, kuin visuaalisen tarkistuksen kortit. Röntgenkuvista nähdään hyvin komponenttien alle mahdollisesti jäävät voidit, eli kaasutaskut, joiden kohdalta komponentit eivät ole juottuneet kiinni korttiin. Samoin röntgenkuvista erottuvat myös mahdollisesti visuaalisessa tarkastuksessa huomaamatta jääneet tinahelmet hyvin.

Röntgenkuvista huomattiin, että VC-korteilla ja FF-korteilla haitallisia voideja ei löytynyt. Toki juotokseen jää lähes aina pieniä kaasukuplia, mutta juotoksen laatu oli Electrian mukaan näillä korteilla kuitenkin kaikissa tapauksissa riittävä ja yleensä jopa hyvä. Kuvassa 16 on tyypillinen FF-kortin juotos, jossa näkyy pieniä voideja, mutta samalla huomataan, että prosentuaalisesti suurin osa juotoksesta on yhtenäistä johdetta. Sama voidaan todeta VC-kortin röntgenkuvasta (kuva 17).

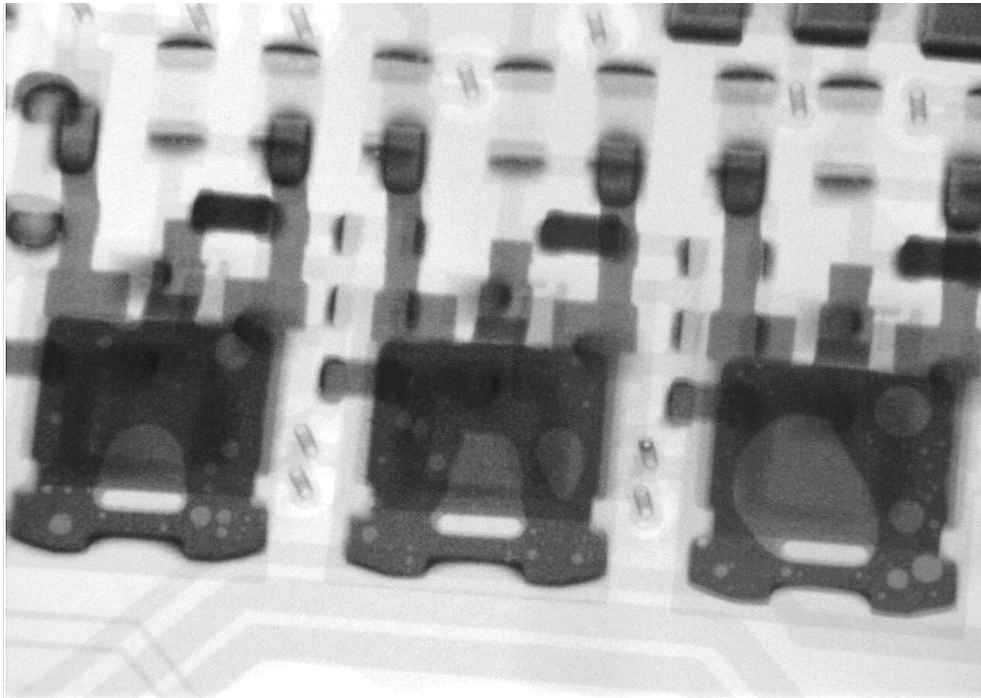


Kuva 16, FF-kortin tyypillinen juotos röntgenkuvattuna.



Kuva 17, VC-kortin juotoksia röntgenkuvattuna.

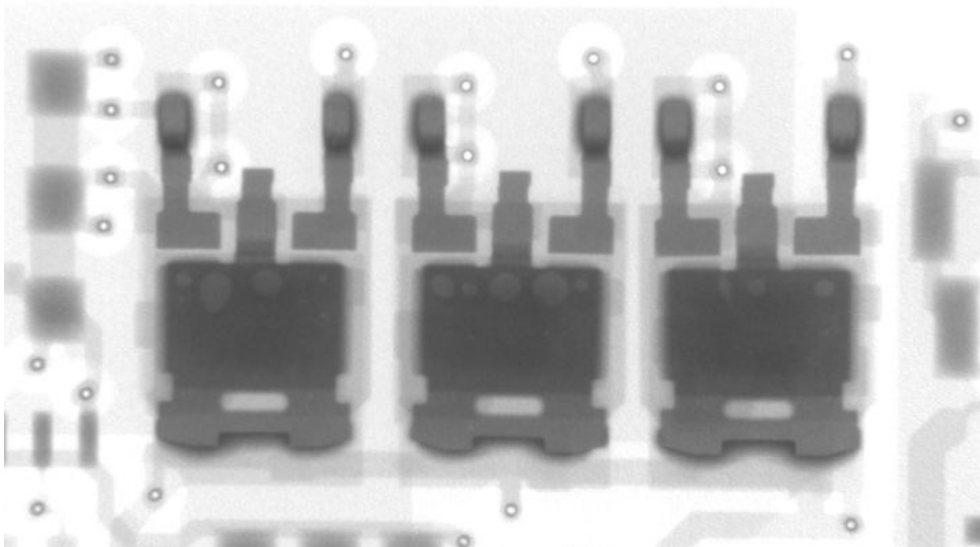
HART-PT- ja HART-korteilla sen sijaan voideja löytyi huomattavasti enemmän ja varsinkin jo ennalta voidien kannalta hankaliksi tiedettyjen suurten transistorien alta. Transistorien yhtenä tehtävänä on johtaa kortin vikaantumisesta johtuva ylimääräinen lämpö pinta-alaltaan suureen johteeseen, jolloin kortin mikään piste ei pääse lämpenemään liikaa. Korttien pintalämpötilalle on tiukat rajat johtuen lopputuotteen, eli asennoittimen hyväksynnöistä. Asennoittimilla on useita eri räjähdysvaarallisten tilojen hyväksyntöjä, jotka säätelevät monia asennoittimen ja sen komponenttien ominaisuuksia. Elektroniikalle tiukimmat rajat asettavat Atex ia - ja IEC Ex ia -hyväksynnot, jotka määräävät, ettei vikatilanne saa aiheuttaa missään osassa asennoitinta niin korkeaa lämpötilaa, että ympäröivä, herkästi leimahtava kaasu tai pöly syttyisi palamaan. Tästä syystä edellä mainittuja transistoreja sanotaan Ex-kriittisiksi. Ne siis osallistuvat kortin suojauksen muodostamiseen. Jotta lämpö saataisiin vikatilanteessa johdettua tehokkaasti kortin suuriin johdepintoihin, pitää myös juotoksen olla kohtuullisen yhtenäistä aluetta, eikä se saa sisältää paljoa lämpöä eristäviä voideja. Transistoreja on vierekkäin kortilla kolme kortin turvallisuuden takia. Yhden tai jopa kahden transistorin hajoaminen ei vielä aiheuta kortin toiminnassa muutoksia. Vain siinä tapauksessa, että kaikki kolme transistoria hajoavat, hajoaa myös koko kortti. Kuvassa 18 näkyy selkeästi jokaisen transistorin alla suuri vaaleampi alue, joka on juotoksen keskelle jäänyt voidi.



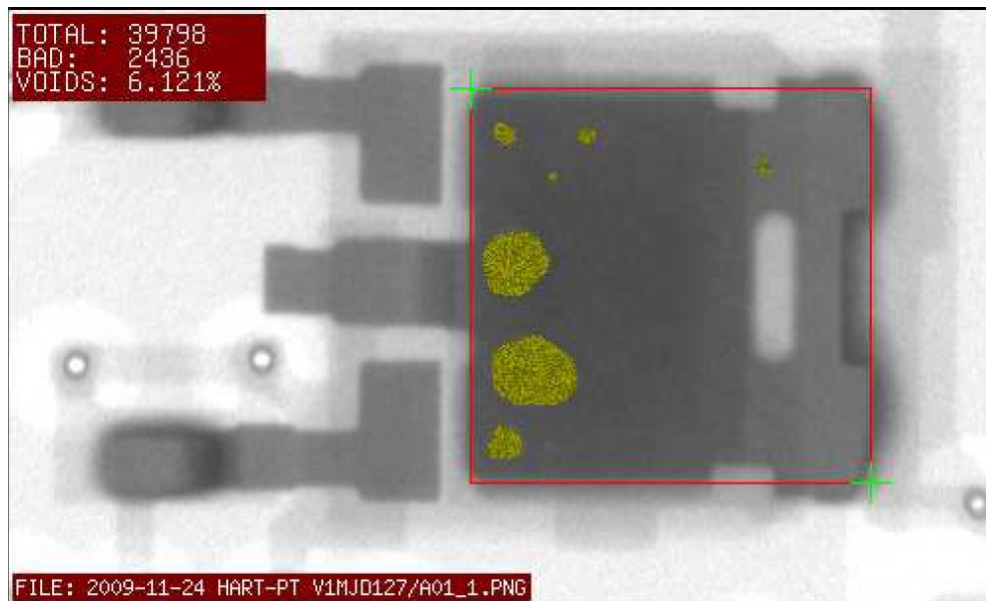
Kuva 18, HART-PT-kortin transistorien tyypilliset voidit ensimmäisessä koe-erässä.

Voidin pinta-alan ollessa suuren, kuten kuvasta 18 näkyy, ei lämpö johdu kunnolla juotoksen läpi kortin johteeseen. Tästä syystä Metso ei suostunut hyväksymään HART- tai HART-PT-kortteja ensimmäisen koe-erän jälkeen. Sopimusvalmistaja alkoi parantamaan juotosprosessiaan näiden korttien osalta ja teki itsenäisesti useampia pieniä koe-eriä. Juotoslaatuun ja nimenomaan voidien määrään vaikuttavia tekijöitä pohdittiin yhdessä Metson, sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden kanssa. Lista mahdollisista syistä voidien syntymiseen on todella pitkä. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa stensiilien paksuus, stensiilien reikien koko, juotospastan koostumus, ladonnassa käytettävä voima komponentteja paikalleen painettaessa, juotosuunin lämpötilaprofiili ja niin edelleen. Noin kuukauden testien jälkeen paikalle kutsuttiin juotoslaadun asiantuntija, joka lopulta ratkaisi ongelman. Automaattinen ladontakone tarttui transistoriin imukupillaan hieman ohi keskikohdan. Tämä aiheutti sen, että transistori ei painunut täsmälleen suoraan juotospastaan, mikä taas aiheutti pastan epätasaisen jakautumisen transistorin alla. Pastan epätasaisesta jakautumisesta johtuivat juotoksissa ilmenneet voidit. Ladontakoneen tarttumispiste transistorista kalibroitiin uudelleen, minkä jälkeen ladotut kortit tarkastettiin taas mikroskoopilla.

Voidit olivat selvästi pienentyneet ja vähentyneet transistorien alta kuten kuvasta 19 näkyy, mutta Metso halusi vielä olla varma siitä, että voidien määrä oli riittävän pieni. Koe-erän kuvista päätettiin analysoida tarkemmin, kuinka suuri osa juotosalasta on juottunut hyvin ja kuinka suuren osan voidit vielä peittävät. Tätä varten käytettiin ohjelmaa, joka tunnisti kuvasta rajatusta alueesta vaaleammat kohdat, eli voidit. Näiden peittämän pinta-alan suhdetta verrattiin tummemman alueen, eli hyvin juottuneen alueen pinta-alaan. Esimerkki tällaisesta vertailusta on kuvassa 20. Voidien alueet on kuvassa värjätty selvyuden vuoksi. Esimerkissä voidien peitossa on juotospinnasta noin 6 %. Laskennallisesti, käyttäen turvallisia approksimaatioita, Metson elektroniikan asiantuntijat päättelivät, että jos voideja on juotospinta-alasta alle 10 %, ollaan lämmön johtumisessa varmasti turvallisella puolella.

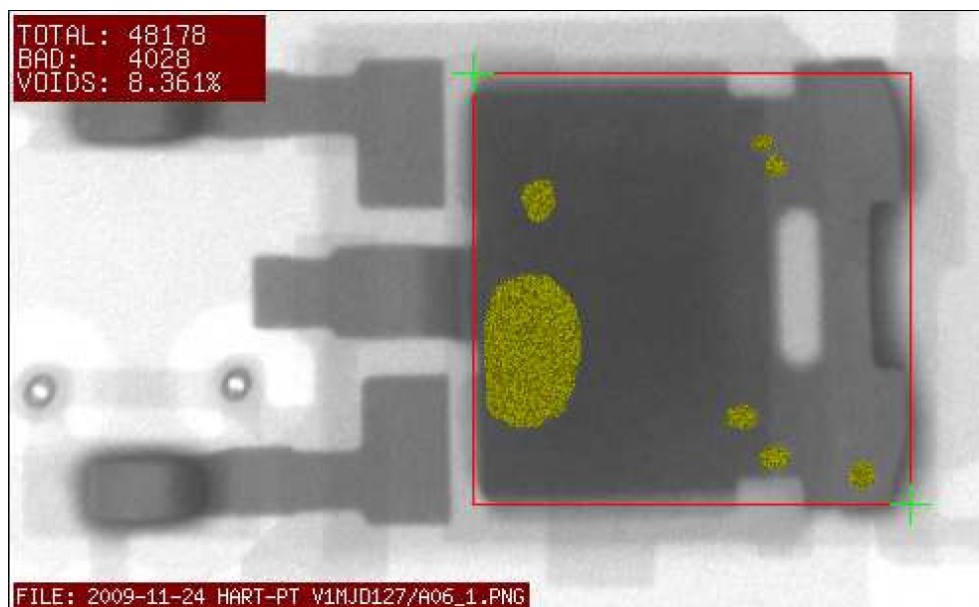


Kuva 19, HART-PT-kortin transistorien tyypilliset voidit toisessa koe-erässä.



Kuva 20, Voidien pinta-alan laskenta ohjelmallisesti röntgenkuvasta.

Liitteen 3 tiedoista huomataan, että yhdenkään transistorin voidien pinta-ala ei ylitä määriteltyä 10 % raja-arvoa. Lähimmäksi nousee kortin a6 transistori numero 1, jolla voidien pinta-ala on vajaa 8,5 % juotospinta-alasta. Kuvassa 21 näkyy toisen koe-erän korttien huonoiten juottunut transistori.



Kuva 21, Huonoiten juottunut transistori toisesta koe-erästä. Kortti a6, transistori 1.

Jos kuvan 21 voidien määrää vertaa ensimmäisen koe-erän tyypilliseen voidimäärään kuvassa 18, huomataan, että tilanne on parantunut huomattavasti ensimmäisestä koe-erästä toiseen. Metso tarkasteli vielä

voidien pinta-alojen prosenttiosuuksien keskiarvoa ja mediaania, jonka jälkeen se antoi sopimusvalmistajalle luvan alkaa valmistaa myös HART-PT- ja HART-kortteja uudessa valmistuslokaatiossa.

7.5 Muut elektroniikan testit

Visuaalisen tarkastuksen ja röntgenkuvien ottamisen jälkeiset elektroniikkakorttien testit suoritettiin kokonaisilla asennoittimilla, jotka oli kokoonpantu testattavista korteista normaalin kokoonpanoprosessin mukaan. Näissä testeissä käytettiin kortteja koe-eristä, jotka oli hyväksytty visuaalisen tarkastuksen ja röntgenkuvien oton jälkeen, eli korjaavat toimenpiteet oli korttien tuotantoprosessiin jo tehty.

Lämpösyklitestauksessa tarkoitus oli varmistaa, etteivät rajutkaan lämpötilojen muutokset vaikuta elektroniikkakorttien toimintaan lämpötila-alueella, jolla asennoittimen on luvattu toimivan. Tämä alue on -40 asteesta celsiusta +80 asteeseen celsiusta. Asennoittimia seurattiin viikon kestävässä lämpösyklitestissä Metson FieldCare-ohjelmiston avulla. Näin varmistettiin, että laitteet toimivat normaalisti koko testin ajan. Monitoroinnissa ei havaittu minkäänlaista normaalista poikkeavaa käytöstä laitteiden toiminnassa. Asennoittimien oltua lämpökaapissa lämpösyklauksessa kappaleessa 5.8. kuvatus prosessin mukaisesti, testattiin laitteet normaaleissa tuotantotestereissä. Kaikissa laitteissa oli kolme sopimusvalmistajan tuottamaa elektroniikkakorttia, kaikissa VC-kortti sekä spool adapter -kortti (SA-kortti) ja näiden lisäksi testattiin viidessä laitteessa FF-kommunikointikorttia ja viidessä laitteessa HART-PT-kommunikointikorttia. Taulukossa 1 on esitetty kunkin laitteen tuotantotestin tulos, hyväksytty tai hylätty. Yksi laitteista ei toiminut hyväksytysti tuotantotesteissä, vaan se hylättiin läpilyönnin takia korkeajänniteteesteissä. Syyksi osoittautui kuitenkin esiohjausyksikkö (EOY). Laite läpäisi testit esiohjausyksikön vaihtamisen jälkeen. Näin voitiin todeta, että kaikki elektroniikkakortit hyväksyttiin lämpösyklitestissä.

Taulukko 1, Lämpösyklitestattujen laitteiden testitulokset.

Kotelo	kommunikointi-kortti	Testin tulos	Hylkäyksen syy	Korjaus	Uusintatestin tulos
1	FBI FF	Hylätty	läpilyönti	EOY:n vaihto	Hyväksytty
2	HART-PT	Hyväksytty			
3	HART-PT	Hyväksytty			
4	FBI FF	Hyväksytty			
5	HART-PT	Hyväksytty			
6	HART-PT	Hyväksytty			
7	FBI FF	Hyväksytty			
8	HART-PT	Hyväksytty			
9	FBI FF	Hyväksytty			
10	FBI FF	Hyväksytty			

Lämpösyklitestauksessa olleista laitteista viittä käytettiin myös seuraavana vuorossa olleessa tärinätestissä. Yhteensä tärinätestissä oli mukana kahdeksan laitetta, joissa kaikissa oli VC- ja SA-kortit sekä tässä tapauksessa kaikissa sama kommunikointikorttityyppi, eli HART-PT-kortti. Kommunikointikorttityyppi valittiin samaksi kaikissa laitteissa siksi, että kyseisellä kortilla oli kaikkein eniten ongelmia juotoksissa suurten voidien muodossa. Lisäksi kyseisellä kortilla on kommunikointikorteista kaikkein suurimmat komponentit, jotka Metson kokemuksen mukaan ovat helpoiten kortilta irrotettavia komponentteja. Tärinätestit tehtiin laboratoriotyönä Metson omassa laboratoriossa kappaleessa 5.8. kuvatun prosessin mukaisesti. Laboratoriotyön testiraportissa (Metso Oyj, 2009) on esitetty tärinätestien tulokset. Kaikkiin laitteisiin kytkettiin tärinätestien jälkeen sähköt, sekä paineilma, jota asennoitin säätelee ohjatessaan toimilaitetta. Asennoittimien toiminta varmistettiin tässä vaiheessa vain testaamalla, että laite reagoi oikein annettuun milliampeeriohjaussignaaliin ja säättää toimilaitteen asemaa ohjauksen edellyttämällä tavalla. Samassa laboratoriotyössä tehtiin kaikille kappaleille vielä pudotustesti asennoittimen spesifikaation mukaisesti kappaleessa 5.8. esitetyllä tavalla. Pudotuksen jälkeen laitteiden toiminta varmistettiin taas tuotantotestauksella. Tulokset löytyvät laboratoriotyön testiraportista (Metso Oyj, 2009). Laitteista yksi hylättiin tuotantotesteissä, johtuen jälleen hajonneesta esiohjausyksiköstä. Hajonneen osan vaihtamisen jälkeen laite meni läpi Metson tuotantotesteistä. Näin ollen

elektroniikkakortit eivät aiheuttaneet ongelmia tärinä- tai pudotustestauksessa ja testit hyväksyttiin.

Seuraavana testinä elektroniikkakorteille tehtiin tuotantotestaus asennoitintehtaalla. Kuten kappaleessa 5.8. kerrotaan, valittiin kaikkia kortteja viisi kappaletta testeihin. Asennoitintehtaalla on tuotantotestejä kaksi kappaletta, final test 1 (FT1) ja final test 2 (FT2). FT1-testissä laitteessa ei vielä ole kommunikointikorttia kokoonpantuna, vaan sopimusvalmistajan tuotteista FT1-testissä testattavassa laitteessa on vain VC-kortti ja SA-kortti. VC- ja SA-korteista kokoonpantiin viisi FT1 kelpoista asennoitinta ja ne ajettiin läpi ensimmäisestä tuotantotesteristä. Neljä laitteista läpäisi testin suoraan ja yksi hylättiin kahteen kertaan. Kyseessä oli kuitenkin kokoonpanovirhe, joka korjaamalla myös viides laite läpäisi testin. FT2-testiä varten laitteisiin kokoonpantiin vielä kommunikointikortit. Ensimmäisenä testattiin HART-PT-kortit, minkä jälkeen laitteisiin vaihdettiin HART-kortit ja lopuksi FF-kortit. HART- ja FF-kortit läpäisivät testit suoraan, samoin kuin HART-PT-korteista neljä viidestä. Viidennen laitteen kohdalla sattui testerivika, ja kyseinen laite meni uusintatestauksessa testistä hyväksytysti läpi. Näin ollen tuotantotestauksessa ei tullut yhtään hylkäystä elektroniikkavian takia ja kortit hyväksyttiin tuotantotestauksen osalta. Tarkemmat testitulokset löytyvät laboratoriotyön testiraportista (Metso Oyj, 2009). Taulukossa 2 on esitetty ensimmäisen tuotantotestauksen tulokset, sekä testerin tietokannan avaimena toimivien VC-korttien numerot mahdollista myöhempää jäljitystä varten. Kyseisillä sarjanumeroilla löytyvät testien tulokset kokonaisuudessaan Metson tietokannasta.

Taulukko 2, FT1-testien tulokset ja VC-korttien sarjanumerot.

FT1		
kotelo	VC-kortti	tulos
1	0934542710	Hyväksytty
2	0934542310	Hyväksytty
3	0934542810	Hyväksytty
4	0934542110	2xhystereesi -> Hyväksytty
5	0934542010	Hyväksytty

Taulukossa 3 on esitetty toisen tuotantotestauksen tulokset, sekä testerin tietokannan avaimena toimivien laitteiden sarjanumerot mahdollista myöhempää jäljitystä varten.

Taulukko 3, FT2-testien tulokset ja laitteiden sarjanumerot.

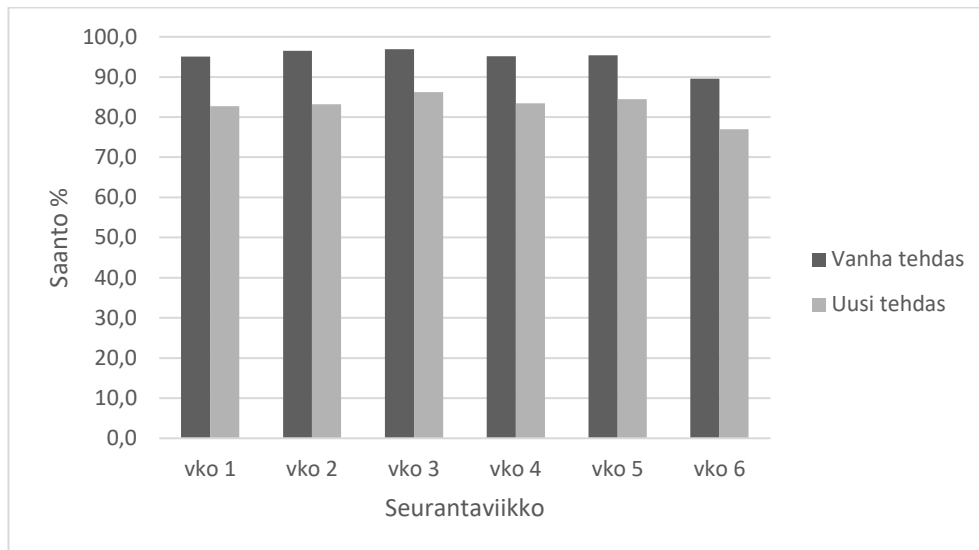
FT2			
kotelo	kortti	PH-numero	tulos
1	HART-PT	PH09416000	Hyväksytty
2	HART-PT	PH09416001	Hyväksytty
3	HART-PT	PH09416002	Hyväksytty
4	HART-PT	PH09416003	Aseman lukuvirhe -> Hyväksytty
5	HART-PT	PH09416004	Hyväksytty
1	HART	PH09416005	Hyväksytty
2	HART	PH09416006	Hyväksytty
3	HART	PH09416007	Hyväksytty
4	HART	PH09416008	Hyväksytty
5	HART	PH09416009	Hyväksytty
1	FF	PH09416010	Hyväksytty
2	FF	PH09416011	Hyväksytty
3	FF	PH09416012	Hyväksytty
4	FF	PH09416013	Hyväksytty
5	FF	PH09416014	Hyväksytty

Kaikkien testien hyväksymisen jälkeen Metso antoi sopimusvalmistajalle luvan lopullista valmistuksen siirtoa varten. Tämä tarkoitti myös sitä, että sopimusvalmistaja siirsi Metson tuotteita pinnoittavan automaattisen lakkauskoneen uuteen valmistuspaikkaan. Metso halusi testata myös lakan antaman suojauksen korteille altistamalla kaksi referenssikorttia vanhasta valmistuspaikasta ja kolme korttia uudesta valmistuspaikasta suolasumulle 14 päivän ajaksi. Metson laboratoriossa ei ole testiin sopivaa laitteistoa, joten testi teetettiin kolmannen osapuolen testilaboratoriossa. Testin hyväksyntäkriteerinä oli, etteivät uudet kortit ole visuaalisesti huonommassa kunnossa kuin referenssikortit. Testin jälkeen kortteja verrattaessa ei niissä nähty merkittävää eroa toisiinsa nähden. Metso hyväksyi tämän jälkeen myös lakkakoneen siirron uuteen valmistuspaikkaan.

7.6 Ensisaannot

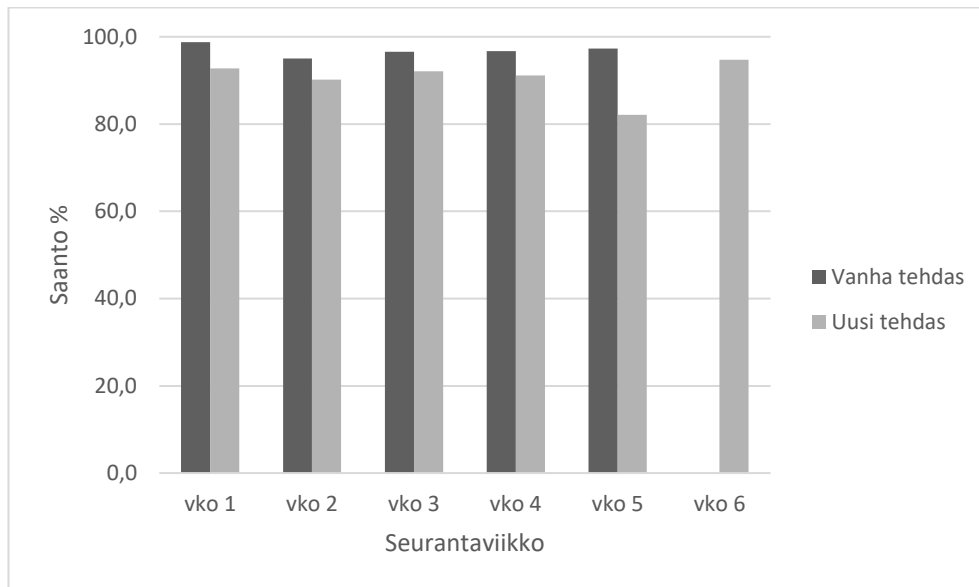
Riski testauksen saantojen huonontumisesta tunnistettiin siirtoprojektia suunniteltaessa. Riskin toteutumista päätettiin seurata ottamalla vanhan tuotantolaitoksen testidataa kuuden viikon ajalta talteen kaikkein kriittisimmiltä korteilta ja vertaamalla tätä dataa uuden tuotantolaitoksen testidataan siirron jälkeen. Korteiksi valikoituivat samat korttivariantit, kuin hyväksyntätestaukseenkin, eli VC-, HART-, HART-PT- ja FF-kortit. Saantojen seurantaa vaikeuttivat epätasaiset valmistusmäärät eri viikoilla, varsinkin pienempivolyymisilla korteilla. Kaikilla korttityypeillä ei ollut lainkaan testaustapahtumia joillain seurantajakson viikoilla ja joillain viikoilla testauksia saattoi olla vain muutamia. Saantoprosentit vääristyvät niillä viikoilla, joilla testaustapahtumia on vähän, sillä yksikin testauksessa tullut hylkäys vaikuttaa saantoprosenttiin huomattavan paljon.

VC-kortin kulutus on valituista korteista suurinta ja tasaisinta, sillä yksi VC-kortti käytetään jokaiseen asennoittimeen, riippumatta asennoittimen tyypistä. Kuvassa 22 näkyy VC-kortin testin ensisaannon vertailu vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksoilla. Testin ensisaanto on pudonnut uuteen tuotantolaitokseen siirryttäessä yli kymmenen prosenttiyksikköä. Seurantajakson aikana saannon keskiarvo vanhassa tuotantolaitoksessa oli 95,5 % ja uudessa 83,4 %. Vanhan tuotantolaitoksen tuottamat määrät seurantajaksoilla olivat huomattavasti pienempiä kuin uuden. Tämä johtui siitä, että VC-korttitesterin hajoaminen siirron yhteydessä aiheutti valmistuspiikin uudelle tehtaalle, kun siirronaikaiset puskurit ja Metson omat varastot oli kulutettu lähes loppuun ennen tuotannon aloittamista uudessa tuotantolaitoksessa. Testaustapahtumia vanhalla tehtaalla oli 875 kappaletta kuuden viikon aikana, kun taas uudella tehtaalla niitä oli 6107 kappaletta. Suurin syy testauksen saannon huonontumiselle oli aloituksen jälkeiset häiriöt tuotantoprosessissa. Saantojen kehittymistä päätettiin seurata normaalisti Metson Quality team -palaverissa, kuten ennen siirtoaakin.



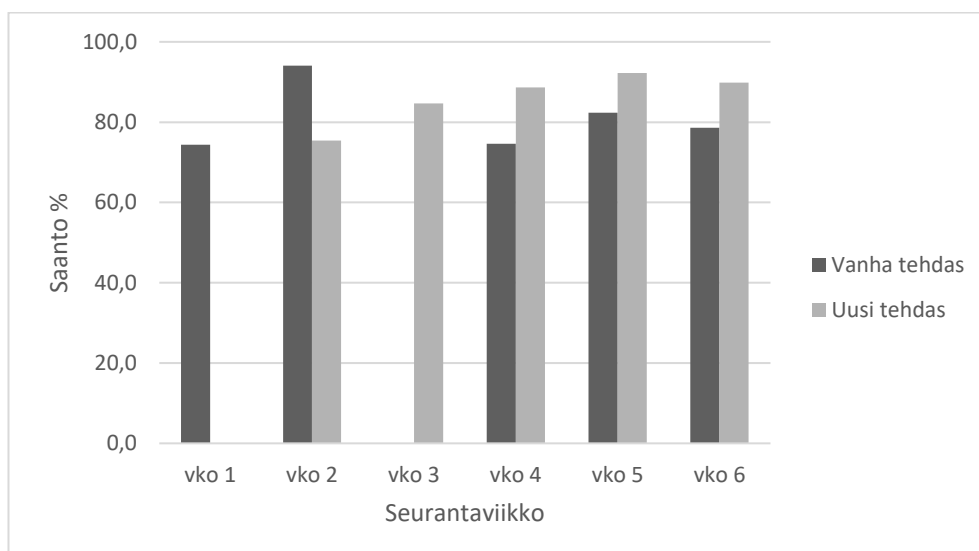
Kuva 22, VC-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksoilla.

HART-korttien ensisaanto noudatti hyvin samaa käyttäytymismallia kuin VC-kortinkin. Tulokset ovat nähtävissä kuvassa 23. Kuudennella seurantajakson viikolla vanhassa tuotantolaitoksessa ei ollut lainkaan testaustapahtumia HART-kortilla. Saantojen keskiarvot seurantajaksoilla olivat vanhassa tuotantolaitoksessa 97,0 %, kun testattuja kortteja oli 1686 kappaletta ja uudessa tuotantolaitoksessa 92,6 %, 3991 testatulla kortilla. Pudotus saannoissa ei siis ollut niin suuri kuin VC-kortilla, mutta kuitenkin huomattava. Mitään systemaattista syytä saantojen huononemiselle ei löydetty HART-kortinkaan tapauksessa, vaan kyseessä olivat häiriöt tuotantoprosessissa siirron jäljiltä. Myös HART-kortin saantoja päätettiin seurata vain normaalilla seurantaprosessilla Quality team -palaverissa.



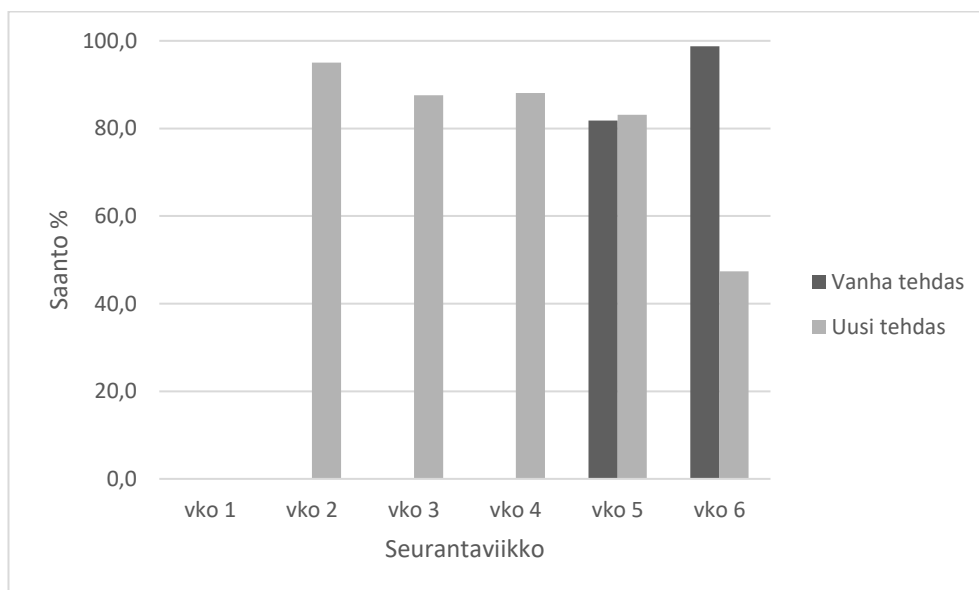
Kuva 23, HART-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.

HART-PT-kortilla saantojen kehitys oli hieman yllättäen päinvastaista, kuin VC- ja HART-korteilla. HART-PT-kortin osalta molemmille seurantajaksoille osui viikko ilman yhtäkään testaustapahtumaa. Saannot on esitetty kuvassa 24. Saantojen keskiarvot seurantajaksoilla olivat 79,5 %, 512 testatulla kortilla vanhassa ja 85,3 %, 1279 testatulla kortilla uudessa tuotantolaitoksessa.



Kuva 24, HART-PT-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.

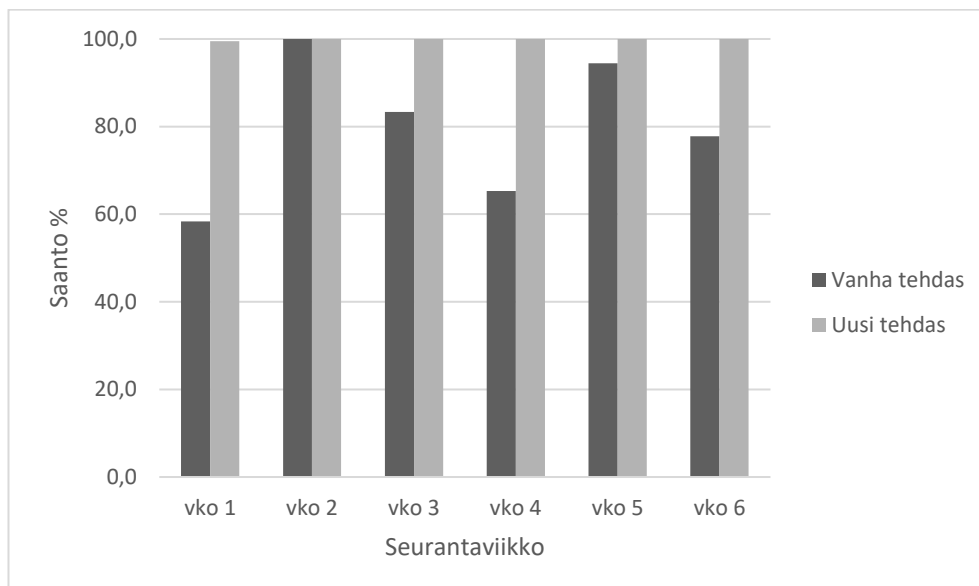
FF-kortin kulutus on kaikkein pienintä erityiseen saantoseurantaan valituista korteista ja sen saannon odotettiin heilahtelevan eniten. Seurantajaksoilla uudessa tehtaassa testaustapahtumia oli kaikkiaan viidellä viikoilla ja vanhassa tehtaassa vain kahdella viikolla. Saannot on esitetty kuvassa 25. Saantojen keskiarvot seurantajaksoilla olivat 92,9 %, 126 testatulla kortilla vanhassa ja 84,7 %, 484 testatulla kortilla uudessa tuotantolaitoksessa. Kuvasta 25 nähdään, että vaihtelua saannoissa on huomattavan paljon myös yhden tuotantolaitoksen sisällä. Tämä johtuu siitä, että testattavat määrät viikossa ovat pieniä ja lyhyetkin häiriöt tuotannossa näkyvät koko viikon saannossa selkeästi. Vanhan tuotantolaitoksen seurantajakson kuudennen viikon 98,8 % saanto on poikkeuksellisen korkea verrattuna pidempiaikaiseen keskiarvoon. Vastaavasti uuden tuotantolaitoksen kuudennen seurantaviikon 47,4 % saanto on poikkeuksellisen matala jo seurantajakson ajalta kertyneen tiedon perusteella.



Kuva 25, FF-kortin testauksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.

Testien saannon lisäksi tutkittiin myös korttien korroosiokestävyyden kannalta erittäin tärkeää lakkausta ja sen visuaalisen tarkastuksen saantoa samoilla seurantajaksoilla kuin testauksiakin. Lakkauskoneen lakkausohjelmia säädettiin siirron yhteydessä entistä paremmiksi ja käsin lakkauksen osuutta hiukan lisättiin, joten oletuksena oli, että lakkauksen laatu

paranee huomattavasti. Korteilta lakataan tiettyjä paikkoja käsin, sillä automaattinen lakkauskone ei pysty kaikkia kohtia korteilta luotettavasti lakkaamaan ilman, että lakkaa päätyy liittimiin tai muihin kohtiin, joihin lakkaa ei haluta päätyvän. Vanhassa tuotantolaitoksessa lakkaustarkastuksen läpäisi seurantajakson aikana keskimäärin 79,8 % lakatuista korteista. Uudessa tuotantolaitoksessa vastaava luku oli 99,9 %. Saannot viikoittain on esitetty kuvassa 26. Tuloksista huomataan, että lakkausprosessiin tehdyt muutokset auttoivat lakkauksen laadun parantamisessa huomattavasti. Vaikka käsityön osuutta hiukan nostettiin, ei valmistusaika silti pidentynyt, sillä korjauslakkauksista päästiin lähes kokonaan eroon.



Kuva 26, Lakkauksen visuaalisen tarkastuksen ensisaanto vanhassa ja uudessa tuotantolaitoksessa seurantajaksolla.

7.7 Läpimenoaika ja hinta

Tilauksen läpimenoaika ja valmistukseen käytetty työaika ovat kaksi eri asiaa. Tilauksen läpimenoajalla tarkoitetaan tässä sitä aikaa, joka alihankkijalta kestää Metson tilauksesta tuotteiden toimitukseen. Kun tuotanto siirrettiin toiseen maahan, oli mahdollista, että läpimenoaika pidentyisi ja Metso joutuisi tilaamaan tuotteensa aikaisemmin kuin ennen. Näin ei kuitenkaan siirtoprojektin yhteydessä käynyt, vaan huolimatta pidentyneistä rahtiajoista, tilauksen läpimenoaika pysyi entisellään. Tämä johtuu siitä, että jo ennen siirtoa Metso oli ostanut tuotteita omaan

varastoonsa, josta tuotteet käytettiin asennoittimien valmistamiseen, eli elektroniikkakortteja ei koskaan yritettykään toimittaa suoraan tarpeeseen. Elektroniikkakorttien tekemisessä ison osan varsinkin ladontaan kuluva ajasta vie asetus aika, kun ladontalinjan komponentit ja stensiilit vaihdetaan kulloinkin työllä olevaa korttivarianttia varten oikeiksi. Samoin ladontalinjan ohjelmisto ladataan ladottavaa korttia vastaavaksi. Asetusajan ollessa suuren verrattuna kortin valmistusaikaan, on kannattavaa tehdä tuotantoa suuremmissa erissä. Lisäksi vanhastakin tuotantolaitoksesta oli sen verran matkaa Metson tehtaalle, että kortteja toimitettiin kaksi kertaa viikossa suurempi erä jatkuvien pienten toimitusten sijaan. Toimitusten tiheys pysyi ennallaan kahdessa kerrassa per viikko ja rahtiaikojen pidentyminen oli sen verran pientä, ettei tilausaikatauluun tarvinnut tehdä muutoksia ja läpimenoaika pysyi ennallaan.

Tuotteiden valmistusaika on se käytetty työaika, joka tarvitaan yhden elektroniikkakortin tuottamiseen. Valmistusaika on laskutettavaa työaika, eli se on sisällytetty tuotteen ostohintaan. Metso edellytti siirron suunnittelun yhteydessä, ettei valmistusaika saa siirron takia kasvaa. Alihankkijan prosessi pysyi valmistuksessa muuttumattomana, eikä valmistusaika tästä syystä muuttunut.

Alihankkijan toimittajakanavat eivät muuttuneet siirron yhteydessä, vaan komponentit ja piirilevyt, samoin kuin juotospasta, lakka ja muut tarvikkeet hankittiin siirron jälkeen samoilta toimittajilta kuin ennen siirtoa, joten näistä ei aiheutunut minkäänlaisia hintavaikutuksia elektroniikkakorttien hintaan. Ainoa hintaan vaikuttanut tekijä oli työvoimakustannusten pienentyminen, joka näkyi Metson ostohintojen halpenemisena verrattuna vanhan tuotantolaitoksen aikaisiin ostohintoihin.

8 Johtopäätökset

8.1 Tulosten kommentointi

Kappaleessa 7 on esitetty siirtoprojektin tulokset. Kokonaisuutena siirto sujui hyvin ja projekti saavutti tärkeimmät tavoitteensa, eli tuotannonsiirto saatiin suoritettua onnistuneesti loppuun, tuotantokatkoksia ei Metson lopputuotteiden osalta esiintynyt siirtoprojektista johtuen ja uuden tuotantolaitoksen tuottama laatu saatiin projektin yhteydessä riittävän hyväksi.

Aikataulu oli suunniteltu alun perin liian tiukaksi, eikä projektia saatu suoritettua edes alkuperäisestä venytetyllä aikataululla. Suurimmat vaikuttajat aikataulun venymiseen olivat laadun verifiointitestauksen kestäminen oletettua kauemmin, yhden tuotantotesterin hajoaminen siirron yhteydessä ja hieman liian pienet resurssit projektin työmäärän nähden. Verifiointitestaukseen ei alkuperäisessä aikataulussa oltu varauduttu lainkaan ja muokatussa aikataulussa oletettiin vahvasti, että testaus saadaan suoritettua yhdellä koe-erällä onnistuneesti loppuun saakka. Löydetyt laatuongelmat kuitenkin venyttivät testaukseen käytettyä aikaa huomattavasti. Koe-eriä jouduttiin tuottamaan ja testaamaan yhteensä kolme, ennen kuin elektroniikkakorttien tuotannon laatu oli Metson hyväksymällä tasolla. Laatuongelman löytyminen kesti yllättävän pitkään, johtuen ongelman syyn yllättävyydestä. Laatuongelman syntyvaihe prosessissa tunnistettiin nopeasti, mutta juurisyyn löytyminen kesti pidempään. Tuotantotesterin hajoaminen siirrossa oli tunnistettu riski, mutta sen realisoituminen viivästytti uuden tuotantolaitoksen tuotannon täysipainoista käynnistämistä. Resursointi vaikutti paperilla olevan hyvin huomioidun, mutta eri asiakkaiden siirtojen päällekkäisyydet vaikuttivat siihen, että siirtoprojektin projektipäällikkö joutui jakamaan aikaansa usean asiakkaan kesken. Kuten luvussa 7.2 todettiin, olisi siirtoprojektille pitänyt määritellä projektiorganisaatioon asiakaskohtaiset vastuuhenkilöt. Metson puolella verifiointitestauksen työmäärä olisi pitänyt pystyä paremmin arvioimaan ja siihen olisi pitänyt varata enemmän resursseja. Kolmansien osapuolien apu oli helposti ja nopeasti saatavilla.

Visuaalisen tarkastuksen suoritti Metson palkkaama elektroniikan valmistuksen asiantuntijayritys. Visuaalinen tarkastus sujui yrityksen osalta täysin sovitusti ja koe-erän kortit saatiin tarkastukseen nopealla aikataululla niiden valmistuttua. Visuaalisessa tarkastuksessa löydettiin yhden korttityypin osalta parannettavaa ja nämä parannukset tehtiin sopimusvalmistajan toimesta ennen toista koe-erää onnistuneesti. Visuaalinen tarkastus onnistui projektissa suunnitellusti.

Röntgenkuvien ottamisen tarve perusteltiin laadun verifiointisuunnitelmassa sillä, että piilevät juotosvirheet havaitaan kuvista. Röntgenkuvien otto paljastui kyseisen siirtoprojektin laadun verifiointitestauksen tärkeimmäksi kohdaksi. Ilman korttien kuvaamista röntgenillä ei nyt löydettyä laatuvirhettä olisi välttämättä huomattu. Vaikka koe-eriä tarvittiin yhteensä kolme ja aikaa kului röntgenkuvien ottamiseen, tulkitsemiseen sekä tuotantoprosessin virheen etsimiseen ja korjaamiseen, voidaan sanoa, että röntgenkuvien ottaminen oli projektin onnistumisen kannalta ensiarvoisen tärkeää.

Uuden tuotantolaitoksen tuottamat elektroniikkakortit läpäisivät ensimmäisellä yrityksellä muut laadun verifiointitestit. Testit oli suunniteltu vastamaan lopputuotteen, eli asennoittimen vaatimuksia kestävyys- ja laadun osalta. Joukossa oli elektroniikalle erittäin vaativia kestävyystestejä, mutta tuotteet läpäisivät ne ilman yhtään hylkäystä.

Tuotettujen elektroniikkakorttien toiminnallisuus testataan kokoonpanon jälkeen toiminallisuustesteillä. Näiden testien saannot kertovat siitä, kuinka suuri osa tuotetuista korteista toimii halutulla tavalla. Saantojen seurantajaksojen tuloksista kappaleessa 7.6 huomataan, että osalla korteista testereiden saannot huononivat siirron yhteydessä ja osalla saannot parantuivat. Keskimäärin korttien testausaannot huononivat. Tämä ei ole tietenkään toivottu lopputulos siirrossa, mutta vaikka pudotukset olivat osin suuriakin, katsottiin niiden olevan pääsääntöisesti uuden tuotantolaitoksen prosessin ylösajon syytä. Saantojen osalta seuranta päätettiin jatkaa normaaleja Metson laadunseurantametodeja käyttäen, eli säännöllisissä Quality team -palaverissa. Jälkikäteen katsottuna saannot nousivat takaisin normaalille tasolle uuden tuotantolaitoksen prosessien vakiinnuttua, mutta

uutta kattavaa laadunseurantaa tai -varmistusta ei elektroniikkakorteille enää tehty.

Lakkauksen prosessimuutos oli siirtoprojektissa sivuosassa, sillä se päätettiin toteuttaa niin sanotusti lennosta siirtoprojektin jo käynnistyttyä. Alun perin tarkoituksena oli tutkia siirron jälkeen tai sen yhteydessä mahdollisuutta siirtyä sopimusvalmistajan muiden asiakkaiden tuotteisiin käyttämään lakkaan ja lakkausprosessiin, mutta Metson asiakasvaatimukset eivät sitä mahdollistaneet. Kun tämä selvisi kesken siirtoprojektin, päätettiin lakkausprosessiin tehdä pieni muutos, lisäämällä käsityön osuutta. Tämä päätös osoittautui erittäin hyväksi. Tämä huomataan kappaleessa 7.6 esitetystä lakkauksen tarkastuksen saannon kehityksestä. Aiemmin hyvin epävarma lakkausprosessi tuotti uudessa tuotantolaitoksessa lähes sataprosenttisesti hyvälaatuisia tuotteita.

Hinta- ja läpimenoaikavaikutukset asiakkaalle, eli Metsolle pystyttiin laskemaan heti projektin alussa erittäin tarkasti. Tämä johtui pitkälti siitä, että tuotantoprosessi pysyi käytännössä täysin samana vanhaan tuotantolaitokseen verrattuna. Lisäksi Metso asiakkaana ei näe mahdollisesti muuttuneita tuotannon kustannuksia tai itse valmistusprosessin läpimenoaikoja, sillä ostohinnat perustuvat neuvoteltuihin ostosopimuksiin. Metso ei halunnut siirrosta aiheutuvan itselleen minkäänlaisia kustannusriskejä, joten hintaneuvotteluissa lähdettiin siitä, että tuotantoprosessin pysyessä entisellään ja työn kustannuksen laskiessa myös ostohinta hiukan laskee.

8.2 Siirtokonseptin arviointi

Siirtokonseptin laatiminen kyseistä siirtoa varten osoittautui tuotantoa siirrettäessä erittäin hyväksi ideaksi. Konseptin avulla osattiin varautua sellaisiin asioihin, joihin ainakaan suunnittelun alkuvaiheessa, ennen konseptin laatimista, ei oltu osattu varautua. Tällaisia asioita olivat muun muassa verifiointitestauksen laajuus, ulkopuolisten asiantuntijaresurssien varmistaminen jo ennen niiden tarvetta ja hiljaisen tiedon siirtoon liittyvien

riskien tunnistaminen. Nämä olivat asioita, jotka tunnistettiin konseptista, mutta joita ei alkuperäisestä siirtosuunnitelmasta löytynyt.

Ennen siirtokonseptin ensimmäistä kohtaa pohdittavat asiat, eli siirron syyt ja tavoitteet kuuluivat kyseisessä siirrossa sopimusvalmistajan vastuisiin. Siirto tapahtui sopimusvalmistajan aloitteesta ja heidän sisäisten syidensä takia. Niiltä osin, kun siirron tavoitteet koskivat sopimusvalmistajan asiakkaita, kerrottiin ne myös Metsolle. Kyseisessä siirrossa tavoitteena oli siirtää tuotanto halvemman työvoiman maahan ja samalla tehostaa sopimusvalmistajan tuotantoa siirtämällä kaikki lähialueiden elektroniikkavalmistus samaan tuotantoyksikköön.

Esivalmistelut noudattivat melko tarkasti siirtokonseptin vaiheita. Auditointi suoritettiin niin aikaisin kuin mahdollista, jotta korjaaville toimenpiteille jäisi mahdollisimman paljon aikaa. Suunnitelman rungon muodostivat siirtoprojektin aikataulus sekä resursointi ja tuotantokatkokseen varautumista pohdittiin Metson ja sopimusvalmistajan välillä yhteistyössä. Tuotantokatkokseen päätettiin varautua puskurivarastoin ja laskelmat tarvittavien varastojen koosta teki Metso. Tämä johtui siitä, että tieto suunnitellun tuotantokatkoksen aikaisista elektroniikkakorttitarpeista oli Metsolla. Ainoa asia, johon esivalmisteluissa ei onnistuttu kunnolla varautumaan oli verifiointitestauksen aikataulus. Ongelmista johtuen testausvaihe venyi huomattavasti ennakoitua pidemmäksi.

Laadunvarmistus uuden tuotantolaitoksen tuotteille tehtiin täysin konseptin mukaisesti. Verifiointisuunnitelma laadittiin ja dokumentointiin hyvin, eikä toteutuksessa poikettu suunnitelmasta. Vaikka aikataulu venyikin laatuongelmien takia, ei laadunvarmistuksesta tingitty lainkaan. Yhtä kattavaa ja hyvin dokumentoitua verifiointisuunnitelmaa ei siirtoon osallistuneiden tahojen tietämyksen mukaan oltu ennen tehty Metsolla. Laadun verifiointisuunnitelma ja -testaus ovatkin konseptin tärkeimmät annit Metsolle. Asennoitintehtaalta projektiin osallistuneet henkilöt pitivät verifiointisuunnitelman tekemistä ja seuraamista ehdottoman tärkeinä myös tulevilla tuotannonsiirtoprojekteilla. Hyvänä asiana laadunvarmistuksen

lisäksi pidettiin testien ja tulosten dokumentointia standardoituun muotoon, jolloin niitä on mahdollista tarkastella tarvittaessa myös myöhemmin.

Valmistuksen siirto sinänsä on hyvin selkeä projektin vaihe. Osat ja välineet, joita uudessa tuotantolaitoksessa tarvitaan, pitää sinne siirtää. Ainoa konseptin tuoma lisäarvo tähän vaiheeseen oli tiedon siirtäminen uuden tuotantolaitoksen henkilöstön käytettäväksi. Varsinkin hiljaisen tiedon siirtoa jouduttiin pohtimaan siirtoprojektin yhteydessä. Täydellisesti hiljaista tietoa ei voida välittää uusille työntekijöille, mutta kaksi yksinkertaista toimenpidettä mahdollistivat ainakin osan siirtämisen uuden tuotantolaitoksen työntekijöiden tietoon. Ennen siirron aloittamista uuden tuotantolaitoksen työntekijät kävivät tutustumassa vanhan tuotantolaitoksen työskentelyyn ja laitteiden sekä osien siirron yhteydessä kaksi vanhan tuotantolaitoksen työntekijää siirtyi uuteen tuotantolaitokseen kuukauden määräajaksi opastamaan uusia tekijöitä. Nämä henkilöiden määräaikaisten siirrot mahdollistivat tuotannon sujuvan aloittamisen uudessa tuotantolaitoksessa.

Huonoiten konseptin ohjeista projektissa noudatettiin ehdottomasti seurantajakso-osiota. Konseptin mukaan siirron onnistuminen pitäisi arvioida asetettujen tavoitteiden perusteella, laadun säilymistä tulisi seurata intensiivisesti ja pidempiaikaisten siirron tavoitteiden toteutumista pitäisi arvioida sopivan ajanjakson kuluttua siirrosta. Aikataulun pettäminen ja resursoinnin puutteellisuus todettiin Metson ja sopimusvalmistajan osalta lyhyesti, mutta syitä näihin ei sen enempää pohdittu. Oppimismielessä olisi voinut olla hyödyllistä miettiä tarkemmin, miten aikataulutuksen ja resursoinnin olisi voinut paremmin järjestää. Kustannustavoitteiden täyttymisen tarkastelu kuuluu tässä siirrosta sopimusvalmistajalle, sillä kustannustiedot ovat yrityksen sisäistä tietoa. Hintavaikutus Metson ostamille tuotteille oli sovittu hintaneuvotteluissa, joten hintaan ei siirrolla periaatteessa ollut vaikutusta. Laadun säilymisen osalta jatkettiin täysin normaalia toiminnallisuustestereiden saantoseurantaa, josta poimittiin kuuden viikon saantotiedot seurantajaksoa varten. Vaikka saantojen seurantajakso osoitti,

ettei laatu ole aivan samalla tasolla, kuin vanhassa tuotantolaitoksessa, ei intensiivisempää seurantaa tai juurisyyanalyysjä laadun osalta tehty.

Kokonaisuudessaan siirtokonsepti toimi moitteettomasti niiltä osin, kun siihen tukeuduttiin. Tämän siirron perusteella voidaan sanoa, että kyseistä siirtokonseptia kannattaa hyödyntää myös tulevilla siirroilla. Kuten kappaleessa 6 todetaan, ei täysin valmista konseptia pystytä yksityiskohtaisella tasolla luomaan, vaan jokaiselle siirrolle pitäisi luoda oma konseptinsa siirron suunnitteluvaiheessa. Tämän työn esittelemä konsepti toimii kuitenkin hyvänä pohjana yksityiskohtaisempien siirtokohtaisten konseptien luomiselle.

8.3 Suositukset Metsolle

Kyseinen siirtoprojekti oli sopimusvalmistajan alullepanema ja toteuttama siirto. Tästä syystä Metso ei voinut vaikuttaa siirron kaikkiin vaiheisiin tai osiin. Siitä huolimatta Metsolla oli siirtoprojektissa suuri rooli, johtuen sopimusvalmistajan ja Metson hyvästä yhteystyöstä. Metsolle olisi suositeltavaa pyrkiä aina osallistumaan mahdollisimman täysipainoisesti oman tuotantonsa kannalta kriittisiin tuotannon siirtoihin, vaikka siirtoprojekti kuuluisikin toiselle yritykselle.

Työssä luodusta konseptista näyttäisi olevan hyötyä siirtoa suunniteltaessa ja toteutettaessa. Kyseistä konseptia kannattaa käyttää jokaiseen tulevaan tuotannon siirtoon soveltuvin osin. Ainakin konseptia kannattaa käyttää tarkistuslistana, ettei mitään oleellista ole projektin suunnitelmasta unohtunut. Erityisesti laadun verifiointiin liittyvät osat kannattaa ottaa käyttöön mahdollisimman laajamittaisesti. Dokumentoitu laadun verifiointisuunnitelma auttaa laadunvarmistuksessa, kunhan suunnitelma on hyvin laadittu ja sitä noudatetaan. Joissain tapauksissa saman osan tuotantoa saatetaan siirtää useammin kuin kerran, jolloin dokumentoidut tulokset laadun verifiointitesteistä voidaan sellaisinaan ottaa referensseiksi uutta siirtoa varten.

Siirron jälkeiseen seurantajaksoon olisi pitänyt kyseisessä siirrosta kiinnittää enemmän huomiota. Jatkossa Metson kannattaa sisällyttää seurantajakso

myös projektisuunnitelmaan, jolloin se tulee helpommin toteutetuksi. Tässä siirrossa seurantajaksoa ei oltu sisällytetty projektisuunnitelmaan, eikä sen suosittelimia asioita toteutettu juuri lainkaan.

Tuotantoa siirrettäessä kannatta myös samalla pohtia minkälaisia parannuksia tuotantoon voidaan tehdä. Kyseisessä siirrossa tuotantoprosessi pysyi käytännössä identtisenä vanhan ja uuden tuotantolaitoksen kesken, mutta esimerkiksi tuotantotestereiden siirrosta johtunut käyttökatkos olisi voitu hyödyntää esimerkiksi pilvipohjaisen saantoseurannan implementointiin. Metson kannattaisi harkita tällaisen laadun etävalvontaohjelmiston käyttöönottoa myös nyt siirron jälkeen, jotta laadunseuranta helpottuisi.

Viitteet

- Anderson, D. M. (2014). *Design for Manufacturability: How to Use Concurrent Engineering to Rapidly Develop Low-Cost, High-Quality Products for Lean Production*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press. ISBN: 978-1-4822-0492-6
- Arnheiter, E. D., & Malayeff, J. (2005). The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM Magazine*, 17(1), 5-18.
- Cheng, Y., Madsen, E. S., & Liangsiri, J. (2010, Helmikuu). Transferring knowledge in the relocation of manufacturing units. *Strategic Outsourcing An International Journal*, Vol. 3(Issue 1), 5-19.
- Ekholm, V., & Kauranen, H. (2003). *Aliurakoitsijakoulutus ja osaamisen siirto rakennusyrityksessä*. Espoo: VTT. ISBN 951-38-6192-9
- Ellram, L. M., Tate, W. L., & Petersen, K. J. (2013). Offshoring and Reshoring: An Update on the Manufacturing Location Decision. *Journal of Supply Chain Management*, Vol 49(Issue 2), 14 - 22. doi:10.1111/jscm.12019
- Goetsch, D. L., & Davis, S. B. (2009). *Quality Management for Organizational Excellence : introduction to total quality* (Kuudes painos ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education. ISBN: 0138003548
- International Chamber of Commerce. (2015). *Business charter for sustainable development - business contributions to the UN sustainable development goals*. ICC, ICC Commission on Environment and Energy and the ICC Task Force on Green Economy. ICC. Retrieved 12 8, 2017, from <https://iccwbo.org/>
- Kinkel, S. (2012). Trends in production relocation and backshoring activities. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 32(Issue 6), 696-720. doi:10.1108/01443571211230934
- Koskinen, J. (2003). *Neles - Nelimarkan oivalluksista maailmanmaineeseen*. Jyväskylä: Gummerus kustannus Oy. ISBN: 951-20-6540-1
- Lengyel, L., Zgodavova, K., & Bober, P. (2012). Modeling and Simulation of Relocation of a Production in SIMPRO-Q Web Based Educational Environment. *iJAC*, Vol 5(Issue 1), 26-31.
- Lewin, A. Y., & Peeters, C. (2006). Offshoring Work: Business Hype or the Onset of Fundamental Transformation? *Long Range Planning*(39), 221-239.
- Li, X., & Wang, J. (2013). Defect Detection of SMT Electronic Modules. *Applied Mathematics & Information Sciences*(2), 515 - 520.
- May, G. S., & Spanos, C. J. (2006). *Fundamentals of Semiconductor Manufacturing and Process Control*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc. ISBN-13: 978-0-471-78406-7
- Metso Oyj. (2009). *Sopimusvalmistajan elektroniikkakorttien Finaltest 1 & 2 testit, 1. koe-erä*. Laboratoriotyö, Helsinki. Retrieved 12 8, 2017

- Metso Oyj. (2009). *Sopimusvalmistajan uuden valmistuspaikan elektroniikkakorttien tärinä- ja pudotustestaus*. Laboratoriotyö, Helsinki. Retrieved 12 8, 2017
- Metso Oyj. (2011). *Annual report 2011*. Helsinki: Metso corporation.
- Metso Oyj. (2016). *Annual report 2016*. Helsinki: Metso corporation. Retrieved from http://www.metso.com/siteassets/annual-report/new-files/metso_annual_review_2016_2.pdf
- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement* (Neljäs painos ed.). Hoboken, New Jersey, USA: Wiley. ISBN: 978-1-118-70514-8
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6th ed.). Jefferson City, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Oechslin, J.-J., & Hansenne, M. (1998). ILO Declaration on fundamental principles and rights at work and its follow-up. *The international labour conference* (pp. 1-18). Geneve: ILO. ISBN 978-92-2-124803-3
- Pujo, P., Pedetti, M., & Giambiasi, N. (2006). Formal DEVS modelling and simulation of a Flow-Shop relocation method without interrupting the production. *Simulation Modelling Practice and Theory* (pp. 817-842). Marseille: Elsevier.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook, A Complete Guide for Green Belts, Black Belts and Managers at All Levels*. New York: The McGraw-Hill companies. doi:10.1036/0071415963
- Stolzer, A. J., Halford, C. D., & Goglia, J. J. (2011). *Implementing safety management systems in aviation*. New York: Ashgate publishing. ISBN: 978-1-4094-0165-0
- The International Organization for Standardization. (2009). *ISO 31000:2009 Risk management - Principles and guidelines*. ISO.
- Tummala, R., & Shcoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal, Vol 16*(Issue 6), 474-483.
- United Nations. (2017, 12 18). *Global compact*. Retrieved 18 12, 2017, from <https://www.unglobalcompact.org/>
- Wetherill, G. B. (1977). *Sampling Inspection and Quality Control*. New York: Hasted press. doi:10.1007/978-1-4899-6858-6

Liitteet

Liite 1, Laadun validointi- ja verifointisuunnitelma

<table border="1"><tr><td></td></tr><tr><td></td></tr></table>			V&V Test Plan V&V Record
Circuit board testing			
Part: <i>Part number here</i>			
Revision:			

Related documents:

ERS (Equipment Requirement Specification)

Date/Version of ERS:

ECO/ECR number:

Others:

_____	Date/Version:	_____
_____	Date/Version:	_____
_____	Date/Version:	_____
_____	Date/Version:	_____
_____	Date/Version:	_____

V&V tests

TEST 1	<i>Ref. to requirement(s):</i>
<i>Review of manufacturers tests</i>	

Overview

Purpose of this test is to review what tests manufacturer has done and are the results of the tests acceptable.

Preconditions**Used Equipment**

Test 1 plan	TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT	RESULT	
1	Review the reports of the tests made by the manufacturer.			

Remarks during the test (deviations):

Enclosed documents:

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 2	Ref. to requirement(s):
Visual inspection	

Overview

Purpose of this test is to determine the quality of the solders.

Preconditions

- The first sample lot is to be used

Used Equipment

Test 2 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Check the solders of the cards.	No cold junctions allowed.			
2	Check the quality of automated assembly of the cards.	Components should be on their place and straight.			
3	Check the quality of handmade assembly of the cards.	Components should be on their place and straight.			
4	Check the card for tin splatters	No tin splatters should be visible			
5	Check the brightness of the solder	The solder should be shiny			
6	Check that the solder has entered the inlet sleeve	There should be tin in the inlet sleeve.			
7	Check that there is no lacquer near the critical components				

Remarks during the test (deviations):

Enclosed documents:

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 3	Ref. to requirement(s):
<i>x-ray inspection</i>	

Overview

Purpose of this test is to determine the quality of the solders. This test is done twice, with new cards and then again after tests 4, 5 and 6.

Preconditions

- 10 of each card (VC, HART, HART-PT, FBI, SA) from the first sample lot are to be used. Including the cards used in the tests 4, 5 and 6.

Used Equipment

Test 3 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Check the solders of the cards.	No cold junctions allowed. The solders need to be accepted by an expert.			

Remarks during the test (deviations): _____

Enclosed documents: _____

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 4	Ref. to requirement(s):
Heat stress test	

Overview

Purpose of this test is to determine if heat cycling causes solders to break.

Preconditions

- At least 10 fully working devices are required

Used Equipment

Test 4 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Set 10 pieces of devices to temperature cabinet	-			
2	Start the temperature cycling from -40 °C to +85 °C and continue it for 7 days.	-			
3	Take the devices out of the temperature cabinet and check that the devices still work.	Normal operation of the devices is still required.			

Remarks during the test (deviations):

Enclosed documents:

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 5	Ref. to requirement(s):
Vibration, sinusoidal excitation	

Overview

Purpose of this test is to determine if the solders break during sinusoidal vibration.

Preconditions

- Use 5 of the same devices as in test 4
- There should be 3 unlacquered and 5 lacquered cards of types VC, HART-PT and SA.

Used Equipment

Test 5 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Positioner and actuator are placed on the test table.				
2	Sinusoidal vibration is applied to the table, on the resonance frequency for 15 minutes in each direction.				
3	Check the operation of the device after the vibration test.	The device should be working properly after the vibration test.			

Remarks during the test (deviations):

Enclosed documents:

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 6	Ref. to requirement(s):
Drop test	

Overview

Purpose of this test is to determine if the solders break because of a hard shock.

Preconditions

- Use the same devices as in test 5.

Used Equipment

Test 6 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Check that the device is working properly				
2	Drop the positioner from 1 meter, check the damage and operation of the device.	Positioner should endure one drop.			

Remarks during the test (deviations):

Enclosed documents:

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 7	Ref. to requirement(s):
Supply chain test	

Overview

Purpose of this test is to determine if the cards meet up with the requirements of normal usage tests.

Preconditions

- 5 VC-cards and SA-cards
- 5 of each communication card
- Assembled to 5 housings
- Communication cards changed after testing

Used Equipment

Test 7 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Put the assembled devices to normal production tests.	No fails caused by the electrical cards are allowed.			

Remarks during the test (deviations): _____

Enclosed documents: _____

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

TEST 8	Ref. to requirement(s):
Salt mist test	

Overview

Purpose of this test is to validate the laquering process

Preconditions

- 3 lacquered cards needed.
- 2 old cards (from Old manufacturing location)

Used Equipment

Test 8 plan		TESTED BY		DATE	
ACTION		EXPECTED RESULT / LIMIT		RESULT	
1	Spray salty water on the cards				
2	Set the cards to weather cabinet for 14 days. +40 °C relative humidity 95%.				
3	Compare the corrosion with old cards.	New cards should not be more corroded than the old cards.			

Remarks during the test (deviations): _____

Enclosed documents: _____

Test Passed: ☐

Test Failed: ☐

Name: _____

Date: _____

Release Letter

V&V APPROVAL

☐

PASSED

Equipment/process ___ has **passed** V&V test(s) per this document. By signing this release letter, the equipment/process will be released to use.

☐

FAILED

Equipment/process ___ has not passed V&V test(s) per this document. Do actions required by following action plan (below).

**If failed, deviations listed below need to be corrected prior to releasing the equipment/process to use.
(Made corrections must be approved on next page.)**

Test number	Action number	Plan for correction	Correction made until (date)

If equipment/process has **PASSED**, by signing the following approvals equipment/process can be released. If **NOT PASSED**, by signing the following approvals the plan for corrections is approved.

Approved:

Name: _____ Date: _____
Author

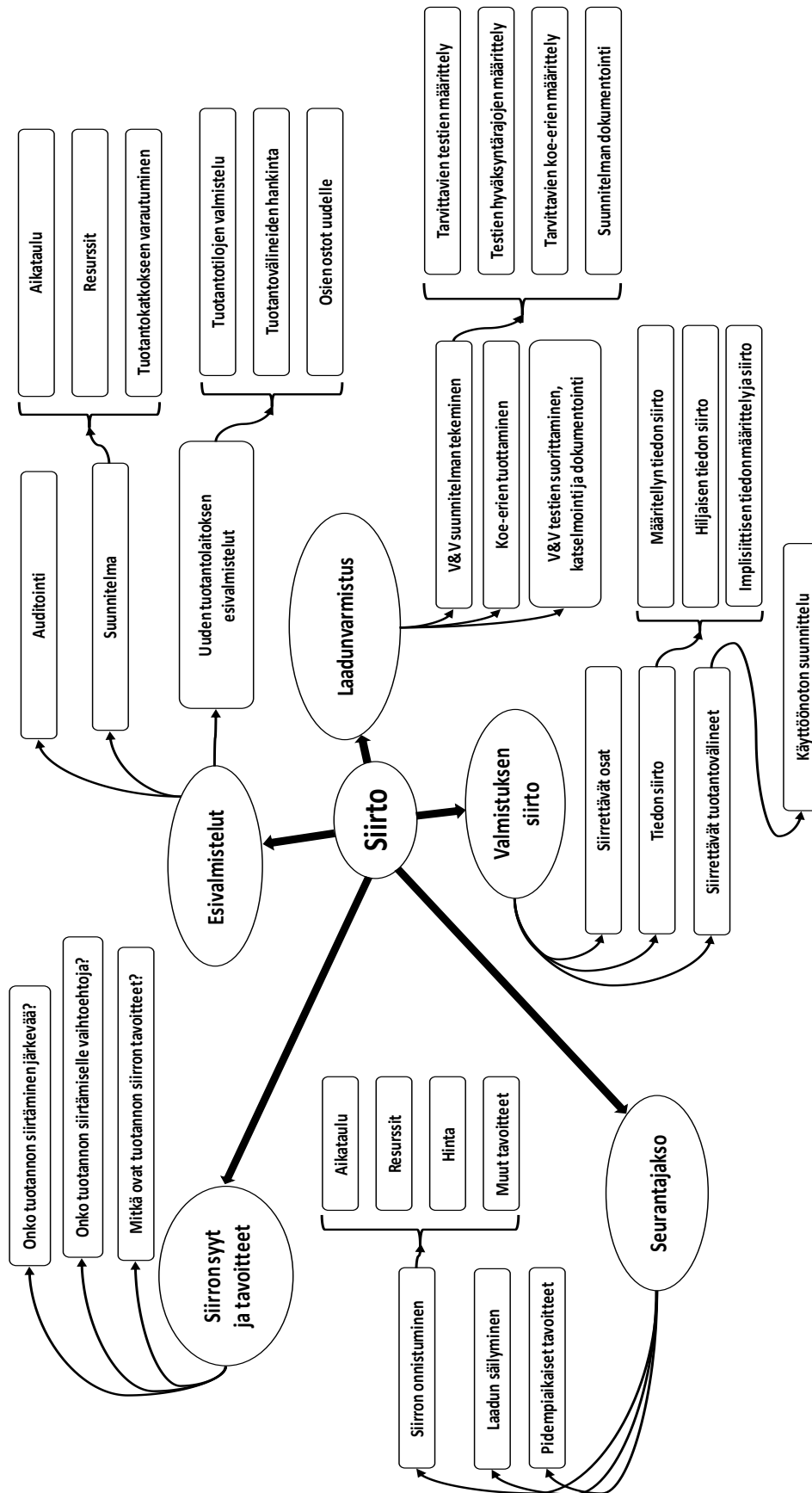
Name: _____ Date: _____
Process/Equipment Designer

Name: _____ Date: _____
Process or equipment owner

Name: _____ Date: _____
Quality

<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; display: inline-block; vertical-align: middle;"></div> PASSED (after corrections)			
<p>All the corrections are made and equipment/process ___ has PASSED the testing. By signing the following approvals the equipment/process can be released. (Following approvals are used only if equipment/process did not originally pass the tests).</p>			
Test number	Action number	Description of correction	Correction made (date)
<p>Approved:</p> <p>Name: _____ Date: _____ <small>Author</small></p> <p>Name: _____ Date: _____ <small>Process/Equipment Designer</small></p> <p>Name: _____ Date: _____ <small>Process or equipment owner</small></p> <p>Name: _____ Date: _____ <small>Quality</small></p>			

Liite 2, Siirtokonseptin muistikartta



Liite 3, Voidien peittämä pinta-ala juotospinta-alasta prosentteina toisen koe-erän HART-PT-korttien transistoreilla

Kortti	Transistori	Voidien osuus pinta-alasta [%]	Kortti	Transistori	Voidien osuus pinta-alasta [%]
a1	1	6,121	b1	1	5,048
a1	2	6,338	b1	2	2,64
a1	3	2,298	b1	3	3,974
a2	1	2,768	b2	1	4,53
a2	2	3,139	b2	2	7,207
a2	3	3,46	b2	3	1,416
a3	1	5,905	b3	1	3,813
a3	2	1,789	b3	2	4,447
a3	3	3,309	b3	3	4,038
a4	1	1,885	b4	1	5,765
a4	2	4,012	b4	2	2,788
a4	3	7,105	b4	3	4,274
a5	1	3,583	b5	1	4,265
a5	2	2,732	b5	2	4,739
a5	3	2,521	b5	3	3,2
a6	1	8,361	b6	1	2,542
a6	2	3,594	b6	2	3,002
a6	3	7,576	b6	3	3,051
a7	1	3,824	b7	1	3,405
a7	2	1,936	b7	2	3,859
a7	3	4,994	b7	3	5,556
a8	1	3,126	b8	1	4,044
a8	2	6,887	b8	2	2,749
a8	3	4,363	b8	3	5,632
a9	1	5,862	b9	1	5,658
a9	2	1,046	b9	2	7,058
a9	3	5,697	b9	3	3,251
a10	1	3,246	b10	1	3,611
a10	2	3,436	b10	2	2,887
a10	3	7,467	b10	3	2,588
a11	1	3,258	b11	1	5,066
a11	2	3,195	b11	2	5,2
a11	3	2,327	b11	3	2,155
a12	1	5,042	b12	1	4,739
a12	2	2,228	b12	2	5,967
a12	3	5,493	b12	3	2,501